



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira



ALEX PADILHA FERNANDES

**EFEITO DA QUEIMA DA CANA DE AÇÚCAR NO ANDAMENTO DA
FERMENTAÇÃO E QUALIDADE DA CACHAÇA ARTESANAL**

João Pessoa/PB
2019

Alex Padilha Fernandes

**EFEITO DA QUEIMA DA CANA DE AÇÚCAR NO ANDAMENTO DA
FERMENTAÇÃO E QUALIDADE DA CACHAÇA ARTESANAL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em
Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e
Desenvolvimento Regional da Universidade Federal
da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau
de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador (a): Prof Dr. Kelson Carvalho Lopes

João Pessoa/PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F363e Fernandes, Alex Padilha.

EFEITO DA QUEIMA DA CANA DE AÇÚCAR NO ANDAMENTO DA
FERMENTAÇÃO E QUALIDADE DA CACHAÇA ARTESANAL / Alex
Padilha Fernandes. - João Pessoa, 2019.

64 f. : il.

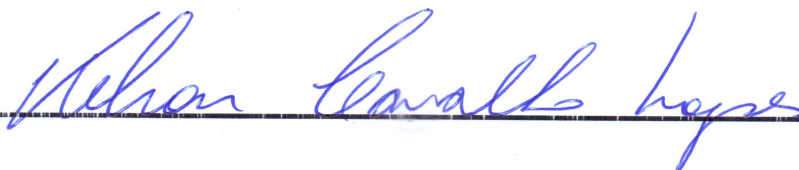
Orientação: Kelson Carvalho Lopes.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Cana de açúcar. Fermentação. Cachaça. Destilação. I.
Lopes, Kelson Carvalho. II. Título.

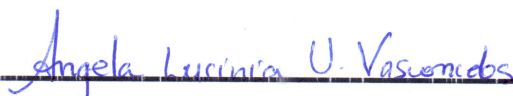
UFPB/BC

TCC aprovado em 26/9/13 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

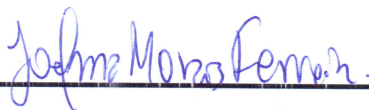
BANCA EXAMINADORA:



PROF. Dr. KELSON CARVALHO LOPES - (UFPB – Orientador)



PROF^a. Dr^a. ANGELA LUCINIA URTIGA VASCONCELOS - (UFPB – Membro interno)



PROF^a. Dr^a. JOELMA MORAIS FERREIRA - (UFPB – Membro interno)

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus que sempre esteve ao meu lado no decorrer desta etapa, pois sem ele não seria possível, aos meus pais Adalberto e Maria pela força e pelos seus ensinamentos e a minha Namorada Ediene por sempre estar ao meu lado, ao professor orientador e amigo Kelson

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força, paciência e sabedoria para ter conseguido passar todas as barreiras e finalizar mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais Maria José Padilha Fernandes e Adalberto Fernandes Sobrinho, que sempre acreditaram no meu potencial e nunca deixaram que eu ficasse pelo caminho, dando suporte, conselhos e incentivando sem vocês isso não seria possível. A Minha Namorada Ediene de Almeida Ramos, que é símbolo de persistência e coragem, que sempre me incentivou e me apoiou nesta jornada árdua, e que me deu um presente de ser pai de uma linda menina chamada Liz Ramos Padilha. E sem falar do meu irmão Anderson da minha Tia Lena e da minha Avó Dona Edite. Tenham certeza, sem vocês não teria chegado até aqui, meu muito obrigado, amo todos vocês!

Ao professor Kelson, pela sua ajuda e orientação que sempre estava disposto para esclarece todas as dúvidas que surgiam na elaboração do trabalho e nos procedimentos e foi uma peça fundamental para finalização dessa caminhada.

Aos amigos que conheci e estiveram junto nessa caminhada em especial, Lucas Leite, Hugo, Elton, Anderson, Wellinson, Paula, Gilberto, Thomaz, Joaquim, Victor, que sempre estava dando apoio e incentivando.

Aos Técnicos dos laboratórios que estavam sempre presentes e colaborando e incentivando, só posso dizer que vocês se tornaram amigos, levarei essas experiências de Diego, José Carlos, Silvano, Claudia Gouveia, de profissionais que exerce com ética e respeito as missões que são repassadas.

A todos os professores do Centro que engrandeceram com seus conhecimentos repassados e tiveram participação em cada palavra escrita nesse trabalho.

Ao discente José Lucas da Silva Rodrigues Batista, por ter doado a cana de açúcar utilizada neste trabalho.

Ao discente Wellinson Silva de Andrade, por fazer a gentileza de realizar parte dos resultados aqui presentes usando a cromatografia

*“Se você pensa que cachaça é
água? Cachaça não é água não,
Cachaça vem do Alambique, e água
vem do Ribeirão...”*

(Mirabeau Pinheiro).

RESUMO

A cachaça está presente desde o início da colonização do Brasil, não se sabe ao certo onde teve sua primeira destilação, no entanto surgiu em nossos territórios por volta do ano de 1516 e 1532, originando o primeiro destilado da América Latina. Na produção da cachaça um dos principais interesses está no mosto que é composto por macro e micronutrientes. Sua degradação é acelerada devido, temperatura e pH que facilitar o aparecimento de bactérias, mantendo a manutenção da microbiota. É recomendável que a cana colhida na lavoura seja processada dentro de um limite máximo de até 24 h. Fermentação é definida bioquimicamente, como um processo de transformação de compostos orgânicos complexos em meio facultativo de oxigênio em substâncias simples formando álcoois e ácidos orgânicos. A destilação acontece após a fermentação alcoólica. O principal objetivo é a separação do álcool e água através do ponto de ebulição de 100 °C para água e 78,4 °C para álcool, podendo variar com o grau alcoólico da solução. Na destilação da cachaça deve-se verificar sempre as temperaturas de vaporização e condensação. Esses parâmetros são essenciais para que se tenha um produto de qualidade e dentro dos padrões regulamentados. Normalmente a produção de cachaça é feita em alambiques de cobre largamente utilizado devido conseguirem retirar componentes indesejáveis da bebida, mas sua produção pode ser feita em alambiques de inox complementado com cobre normalmente realizada para processos industriais. O presente trabalho, mostrou que a **QUEIMA** da cana de açúcar para utilização na produção da cachaça artesanal, **NÃO DIFERE** muito dos resultados apresentados para a cana crua, podendo a cana quando queimada interferir na análise sensorial da cachaça. Temos resultados para **ACIDEZ VOLÁTIL**, resultados **MENORES** que o limite de **150** permitido, **10,2** para cana queimada e **11,34** para cana crua. Parâmetro este, comumente usados para avaliar a qualidade da cachaça artesanal. Temos resultados para **ÁLCOOL SUPERIOR**, resultados **MAIORES** que o limite de **360** permitido, **529,84** para cana queimada e **507,12** para cana crua. Temos resultados para **ALDEIDOS**, resultados **MAIORES** que o limite de **30** permitido, **59,72** para cana queimada e **68,17** para cana crua. Temos resultados para **ÉSTERES, EM ACETATO DE ETILA**, resultados **MENORES** que o limite de **200** permitido, **49,26** para cana queimada e **54,77** para cana crua. Temos resultados para **SOMATÓRIO DE FURFURAL E HIDROXIMETILFUR-FURAL**, resultados **MENORES** que o limite de **5** permitido, **0,0** para cana queimada e **0,6** para cana crua.

Palavras-chave: Cana de açúcar. Fermentação. Cachaça. Destilação

ABSTRACT

The cachaça is present since the beginning of the colonization of Brazil, it is not known exactly where it had its first distillation, however it appeared in our territories around the year 1516 and 1532, originating the first distillate of Latin America. In the production of cachaça one of the main interests is in the must that is composed of macro and micronutrients. Its degradation is accelerated due to temperature and pH that facilitate the appearance of bacteria while maintaining the maintenance of the microbiota. It is recommended that the sugarcane harvested in the crop be processed within a maximum limit of up to 24 hours. Fermentation is defined biochemically as a process of transforming complex organic compounds in optional oxygen medium into simple substances forming alcohols and organic acids. Distillation happens after alcoholic fermentation. The main objective is the separation of alcohol and water through the boiling point of 100 ° C for water and 78.4 ° C for alcohol, which may vary with the alcohol content of the solution. In the distillation of cachaça, the vaporization and condensation temperatures must always be checked. These parameters are essential to have a quality product and within regulated standards. Typically, the production of cachaça is done in widely used copper stills because they can remove undesirable components from the beverage, but its production can be done in copper-complemented stainless stills usually made for industrial processes. The present work showed that the burning of sugar cane for use in the production of artisanal cachaça, does not differ much from the results presented for raw cane, cane when burned can interfere in the sensory analysis of cachaça. We have results for VOLATILE ACIDITY, results LESS than the limit of 150 allowed, 10.2 for burnt cane and 11.34 for raw cane. This parameter, commonly used to evaluate the quality of artisanal cachaça. We have results for HIGH ALCOHOL, higher than the limit of 360 allowed, 529.84 for burnt sugarcane and 507.12 for raw sugarcane. We have results for ALDEIDOS, results BIGGER than the limit of 30 allowed, 59.72 for burnt cane and 68.17 for raw cane. We have results for ESTERES, IN ETHYL ACETATE, results LESS than the limit of 200 allowed, 49.26 for burnt sugarcane and 54.77 for raw sugarcane. We have results for FURFURAL AND HYDROXYMETHYLFUR-FURAL SUMMARY, results LESS than the limit of 5 allowed, 0.0 for burnt cane and 0.6 for raw cane.

Keywords: Sugar cane. Fermentation. Sugarcane liquor. Distillation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de produção da cachaça	20
Figura 2- Matéria prima utilizada no trabalho em dois momentos (a)Plantio em pedras de fogo; (b) Cana crua e queimada no laboratório de operações para extração do caldo	24
Figura 3- Extração do caldo com sistema de embebição.....	26
Figura 4 - Reações que ocorrem no processo de fabricação da cachaça que influem no sabor e odor do produto	29
Figura 5 - Diagrama de um cromatógrafo gasoso.....	39
Figura 6 - Porta de injeção de amostra.	40
Figura 7 Colunas	42
Figura 8 - Detector.	44
Figura 9- Procedimento para extração do caldo, peneiramento do caldo e descarte do bagaço.....	47
Figura 10- Dornas com sensores de temperatura.....	49
Figura 11- Equipamentos utilizados para a destilação	51
Figura 12- Equipamentos utilizados para a destilação	52
Figura 13- Densímetro digital, utilizado para verificar o °GL e as densidades das amostras(a), Ebuliômetro (b).....	53
Figura 14 - Resultados da análise cromatográfica da CANA CRUA (CORAÇÃO) ...	57
Figura 15 - Resultados da análise cromatográfica da CANA QUEIMADA (CORAÇÃO)	57
Figura 16 - Resultados da análise cromatográfica da CANA CRUA (CALDA)	58
Figura 17 - Resultados da análise cromatográfica da CANA QUEIMADA (CALDA)	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Estados que mais exportaram cachaça no 1º semestre em 2018	18
Tabela 2- Composição da cana-de-açúcar e sólidos solúveis no caldo	22
Tabela 3 Tipos de Detectores	43
Tabela 4 Estão descritos os parâmetros obtidos durante o acompanhamento das fermentações.....	54
Tabela 5 - Parâmetros obtidos das análises físico-químicas das amostras das cachaças após o processo de destilação.	55
Tabela 6 - Características físicas e químicas para a aguardente de cana-de-açúcar e cachaça, estabelecidas pela legislação brasileira (MIRANDA , 2007)	56
Tabela 7 - Aguardente de melaço, de cereal, de vegetal, de rapadura e de melado.(INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA, 2011).....	56
Tabela 8 – Agrupamento dos resultados, mostrados nas figuras 14 a 17.....	59
Tabela 9 – Agrupamento dos resultados, mostrados nas figuras 14 a 17, considerando os parâmetros da INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA, 2011	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO	16
2.1.1 Objetivo geral	16
2.1.2 Objetivos específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Cana-de-açúcar	17
3.2 Denominação e potencialidade da cachaça	17
3.3 Processos de fabricação da cachaça	19
3.3.1 Matéria Prima	21
3.3.2 Recepção e armazenamento da matéria prima	23
3.3.3 Extração do caldo	25
3.3.4 Tratamento e Filtração do caldo	26
3.3.5 Diluição do caldo	27
3.3.6 Fermentação alcoólica	27
3.3.7 Fatores que inibem a fermentação alcoólica	30
3.3.7.1 Temperatura	31
3.3.7.2 pH	31
3.3.7.3 Glicerol	31
3.3.7.4 Concentração de substrato	32
3.3.8 Destilação do vinho	32
3.4 Cromatografia gasosa	36
3.4.1 História	36
3.4.2 Análise através de Cromatografia Gasosa	38
3.4.3 Componentes físicos	39
3.4.3.1 Componentes instrumentais	39
3.4.3.2 Porta de injeção de amostra	40
3.4.3.3 Colunas	41
3.4.3.4 Temperatura da coluna	42
3.4.3.5 Detectores	42
4 MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1 Cana-de-açúcar	45
4.1.1 Preparo da matéria prima para fermentação	45
4.2 Destilação do vinho fermentado	50

4.3 Análises físico químicas da cachaça	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 pH, brix e temperatura	54
5.2 Análise cromatográfica	56
6 CONCLUSÕES	62
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

Falar da cachaça não é simplesmente descrever sobre qualquer bebida, mas sim descrever um produto que nasceu com as cores da bandeira do nosso país, produto que está difundido não só no Brasil, mas no mundo. A bebida carrega consigo fatos históricos que só ela presenciou, talvez seja por isso que é considerado um produto autêntico e genuinamente brasileiro, esse título não foi conquistado por acaso, mas simplesmente por sua história que está presente desde os primórdios da colonização do Brasil. De modo geral podemos afirmar que desde o início do século XVII a bebida já era fabricada, uma aguardente de caldo de cana (CASCUDO¹, 2006 citado por SILVA, 2019 p. 12).

Quando surgiu nos engenhos brasileiros a bebida era tida como um produto secundário e de baixo valor agregado, sua produção era absorvida por classes sociais com poder aquisitivos mais baixo e com isso o seu volume de produção era reduzido.

Não se sabe ao certo onde deu início sua primeira destilação, mas, no entanto, podemos afirmar que surgiu em nosso território por volta do ano de 1516 e 1532 originando o primeiro destilado da América Latina (IBRAC², 2018 citado por SILVA, 2019 p. 12).

Para se manter no mercado, a cachaça teve que passar por diversas transformações, aprimoramentos e investimentos em tecnologias, esse agronegócio passou um determinado período de inércia, mas os produtores se viram obrigados a mudarem seus modos de produção pois seus clientes queriam algo novo e sofisticado. Todos esses esforços para desenvolver um produto com *design*, adequações a normas técnicas e materiais utilizados com padrões exigidos acarreta custos, mas é uma boa alternativa para agregar valor ao produto (VERDI³, 2006 citado por SILVA, 2019 p. 12)

Podemos observar que essas mudanças em pequenos engenhos são sentidas. Muitas das vezes eles acabam fechando por falta de investimentos e os altos

¹ CASCUDO, C. **PRELÚDIO DA CACHAÇA**. Rio de Janeiro, v. 1, 2006.

² INSTITUTO BRASILEIRO DA CACHAÇA (IBRAC). **UM POUCO DE HISTÓRIA**: 2011. Brasília, 2011. Disponível em: < <http://www.ibrac.net/index.php/ig-cachaca/historia-da-cachaca> >. Acesso em: 27 de dezembro. 2018.

³ VERDI, A.R. **DINÂMICAS E PERSPECTIVAS DO MERCADO DA CACHAÇA**. Informações Econômicas, São Paulo, p. 93, 2006.

custos dos maquinários e equipamentos e mão de obra qualificada. Muitas propriedades ainda possuem atividades secundárias e rudimentares são administradas com alta informalidade (JÚNIOR⁴, 2017 citado por SILVA, 2019 p. 13).

A cachaça cada dia mais vem ganhando o seu espaço e se tornando um produto apreciado e cobiçado por muitos admiradores, com o tempo e evoluções tecnológicas a cachaça acabou ganhado cor, sabor e variações que há tempos atrás não se imaginária, isso fez com que a nossa bebida galgasse outros horizontes, novos países e culturas diferentes. No entanto, nunca vai perder a sua essência e originalidade, pois cachaça com este nome e matéria prima só vai existir no Brasil. ***Desta forma Cachaça é a denominação típica e exclusiva da Aguardente de Cana produzida no Brasil com graduação alcoólica que varia entre 38-48 % a 20 °C*** (BRASIL⁵, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 13).

É fato que este produto ainda sofre por preconceitos, muitas vezes associados a um produto sem qualidade, mas cachaça hoje em dia deixou de ser um produto absorvido apenas no mercado interno e acabou ganhando mercados internacionais que antes não podíamos nem sequer imaginar, desta maneira vem acabando com o preconceito. Dados afirmam que ela está tendo sua imagem modificada no decorrer do tempo devido a mercados internacionais. (SILVA et al⁶, 2010 citado por SILVA, 2019 p. 13).

Na elaboração da cachaça existe alguns fatores que interferem diretamente na sua produção e qualidade. São elas: pH, temperatura, matéria prima, contaminações bacterianas e graduação alcoólica. Com foco nesses parâmetros foi desenvolvido um estudo para verificar a influência de cada parâmetro no processo de fabricação da cachaça. (Ferreira⁷ (2002) citado por SILVA, 2019 p. 26)

⁴ JÚNIOR, B.F.S. **PREPARAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO CARVÃO VEGETAL E SUA AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE ADSORÇÃO DO COBRE PRESENTE EM CACHAÇA ARTESANAL** (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia) Uberlândia - MG, 2017.

⁵ BRASIL. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. Instrução Normativa nº. 13, de 29 de junho de 2005. Brasília, 2005a. Disponível em <<http://imanet.ima.mg.gov.br/nova/gec/Legistacao/mapa/IN13.pdf>>. Acesso em: 2 de janeiro. 2019.

⁶ SILVA, P.B. **ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE SEIS GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDOS A ESTRESSE HÍDRICO** (Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Proteção de Plantas) RIO LARGO – AL, 2010.

⁷ FERREIRA, L. V. **ESTUDO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EM FRASCOS**

2 OBJETIVO

2.1.1 *Objetivo geral*

Observar o comportamento da fermentação alcoólica e qualidade da cachaça artesanal proveniente da cana crua e da cana queimada.

2.1.2 *Objetivos específicos*

- Realizar a etapa de fermentação alcoólica, variando a matéria prima (cana crua e cana queimada);
- Analisar o andamento da fermentação e realizar a leitura de brix, pH e graduação alcoólica no decorrer da fermentação;
- Verificar o quanto a cana queimada interfere na fermentação alcoólica;
- Destilar o vinho fermentado obtido para os dois tipos de canas;
- Determinar a acidez da cachaça produzida;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma herbácea, pertence à família das gramíneas mais precisamente da espécie *Saccharum officinarum* L, tem suas adaptações em climas tropicais e subtropical. (ALBUQUERQUE⁸, 2012 citado por SILVA, 2019 p. 15).

Os primeiros contatos com a cana-de-açúcar foram na Nova Guiné e disseminada na Índia (HISTÓRIA DA CANA⁹, 2006 citado por SILVA, 2019 p. 13). A cana-de-açúcar foi responsável por desenvolver a economia brasileira nos dois primeiros séculos fazendo com que sua colonização desenvolvesse de forma mais significativa. (MOKFA¹⁰, 2015 citado por SILVA, 2019 p. 15).

3.2 Denominação e potencialidade da cachaça

Cachaça é denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, ficando estabelecido sua graduação alcoólica de 38% a 48% a 20 °C obtido pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana (BRASIL¹¹, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 15).

A cachaça produzida em alambique de cobre oferece um sabor mais suave, isto é decorrente do material em que a bebida foi destilada, realçando o sabor e odor que só esses materiais oferece ao destilado (LIMA et al.¹², 2006 citado por SILVA, 2019 p. 15).

⁸ ALBUQUERQUE, W.G. **CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTIVO DUAL DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO** (Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande) CAMPINA GRANDE - PB, 2012.

⁹ **HISTÓRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR**. São Paulo, 2006. Disponível em: http://www.siamig1.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=61. Acesso em: 22/03/2019.

¹⁰ MOKFA, A. PFULLER, E. E; **ELABORAÇÃO DE AÇÚCAR MASCAVO ECOLÓGICO NA AGROINDÚSTRIA FAMILIAR E CO AÇÚCAR EM PAIM FILHO**. RAMVI, Getúlio Vargas, v. 02, n. 04, jul. /Dez. 2015.

¹¹ BRASIL. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. Instrução Normativa nº. 13, de 29 de junho de 2005. Brasília, 2005a.Disponível em<<http://imanet.ima.mg.gov.br/nova/gec/Legistacao/mapa/IN13.pdf>>. Acesso em: 2 de janeiro. 2019.

¹² LIMA, A. de J.B.; CARDOSO, M.G.; GUERREIRO, M. C. PIMENTEL, F. A. **QUIM. NOVA** 2006, 29, 207.

A bebida é apreciada devido ao seu sabor e aroma, decorrentes da fermentação e destilação isso faz com que a bebida se torne um produto com características sensoriais variados (ODELLO et al.¹³,2009 citado por SILVA, 2019 p. 15)

O destilado é produzido em praticamente todos os estados do Brasil, gerando emprego e renda direta e indiretamente. Sabemos que sua produção movimenta o mercado financeiro e tem representado bem esse setor, nacionalmente e internacionalmente. A **Tabela 1**, mostra os maiores exportadores de cachaça do 1º semestre de 2018.

Tabela 1-Estados que mais exportaram cachaça no 1º semestre em 2018

EXPORTAÇÕES DE CACHAÇA POR ESTADOS			
Período de janeiro a junho de 2018			
CLASSIFI	ESTADO	VALOR US\$	% PARTIC
1º	São Paulo	4.332.583	54,17
2º	Rio de Janeiro	1.058.973	13,24
3º	Paraná	819.424	10,25
4º	Pernambuco	594.775	7,44
5º	Ceará	499.372	6,24
6º	Rio Grande do Sul	330.347	4,13
7º	Minas Gerais	277.204	3,47
8º	Bahia	39.438	0,49
9º	Goiás	25.952	0,32
10º	Paraíba	13.490	0,18
11º	Mato Grosso do Sul	3.837	0,05
12º	Rio Grande do Norte	1.535	0,02
13º	Alagoas	54	0
EXPORTAÇÃO DE CACHAÇA NO PERÍODO			7.997.98 US\$

Fonte: Mapa da cachaça ¹⁴(2018 citado por SILVA, 2019 p. 16)

¹³ ODELO, L; et al. **AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CACHAÇA**. Quím. Nova vol. 32 nº.7 São Paulo 2009.

¹⁴ **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). AGROSAT: 2018.** Governo, 2018. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 08 janeiro. 2018.

De acordo com Sebrae (2012) podemos dizer que o mercado de bebida no Brasil se divide em dois grupos os fermentados compostos por cerveja e vinhos e os destilados, formados por cachaça, whisky e vodca. Desta forma observamos que a bebida tem concorrentes variados e consumidores bem diversificados. Dentre dessas diversificações de bebida no nosso país a cachaça ocupa o segundo lugar das mais consumidas, ficando atrás apenas da cerveja. (SEBRAE¹⁵, 2012 citado por SILVA, 2019 p. 16).

Segundo Souza (2013), a produção de cachaça é dividida em duas partes, processos contínuos destilados em coluna, chegando ao volume de 1,3 bilhão de litros e batelada produzidos 200 milhões destilados em alambique (SOUZA¹⁶, 2013 citado por SILVA, 2019 p. 16). A produção é influenciada basicamente por volume de produção e diminuição dos custos do produto. Na elaboração de uma garrafa em processos industriais se gasta R\$ 0,46 a 0,48, na artesanal é cerca de R\$ 1,20 (VERDI¹⁷, 2006 citado por SILVA, 2019 p. 13).

De acordo com o Mapa (2018) no primeiro semestre de 2018 de janeiro a junho, os Estados Unidos foram os que mais compraram a nossa bebida, ficando à frente da Alemanha, Paraguai e Portugal. Isto, demonstra que cada vez a bebida está ganhando o mundo e a preferência de consumidores estrangeiros.

3.3 Processos de fabricação da cachaça

De acordo com Souza et al, (2013) a produção envolve os grandes, médios e pequenos produtores, no entanto os grandes produtores são mais favorecidos devido à redução nos custos e conseguem fornecer os seus produtos as classes C e D. Pode-se dizer que os pequenos produtores não conseguem atender todo o mercado devido ao custo de produção encarecendo o produto, ficando restringido a uma pequena parcela que consome seus produtos

Na Figura 1 Podemos observar o processo envolvido na realização do processamento da matéria prima e obtenção do produto, todos os processos estão

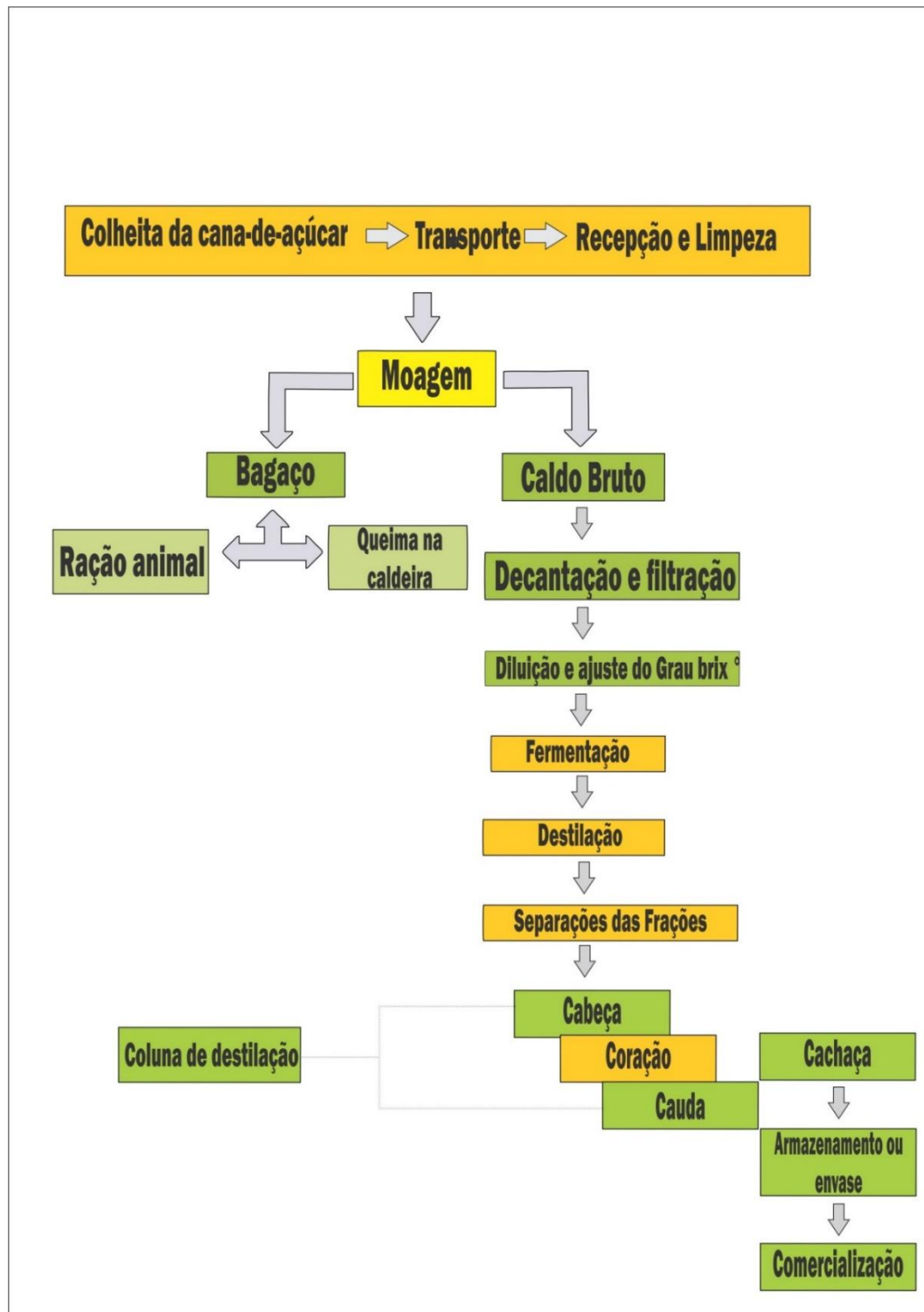
¹⁵ SEBRAE. **CACHAÇA ARTESANAL SÉRIE ESTUDOS MERCADOLÓGICOS**. Brasília, p.13, 2012.

¹⁶ SOUZA, L. M et al. **PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE QUALIDADE**. São Paulo, v. 1, p. 30-31, 2013.

¹⁷ VERDI, A.R. **DINÂMICAS E PERSPECTIVAS DO MERCADO DA CACHAÇA**. Informações Econômicas, São Paulo, p. 93, 2006.

sendo ilustrados da seguinte forma: colheita da cana-de-açúcar, Extração do caldo, fermentação e destilação.

Figura 1- Processo de produção da cachaça



Fonte: SILVA, 2019

3.3.1 *Matéria Prima*

De acordo com Margulis et al¹⁸ (2010), citado por SILVA, 2019 p. 19, 2010 as mudanças no clima serão sentidas em diferentes regiões brasileiras. As bacias hidrográficas terão redução principalmente no Nordeste, no entanto a cana sobressai e não sofrerá tanto com mudanças climáticas. A cana de açúcar tem grande potencial de desenvolvimento e se adapta bem ao nosso clima tropical.

Características da planta devem ser consideradas: colmo, sacarose, rápido desenvolvimento inicial, fechamento das entrelinhas, despalha espontânea, ausência de joçal e baixo teor de fibras. Isso faz que se ganhe em produtividade (SALES¹⁹ 2013 citado por SILVA, 2019 p. 19).

Na produção da cachaça um dos principais interesses está no mosto que é composto por macro e micronutrientes. Sua degradação é acelerada devido, temperatura e pH que facilitar o aparecimento de bactérias, mantendo a manutenção da microbiota (Junior²⁰, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 19). É recomendável que a cana colhida na lavoura seja processada dentro de um limite máximo de até 24 h. Isso minimiza a degradação da matéria prima e reduz as contaminações bacteriológicas (SOUZA²¹ et al, 2013 citado por SILVA, 2019 p. 19). Outro fator importante na industrialização da cana-de-açúcar é a maturação, indicando que a cana está pronta para ser processada (Galdiano²², 2008 citado por SILVA, 2019 p. 19).

Pode-se dizer que a colheita da cana deve ser realizada quando atingir o estágio de maturação, ficando evidente quando seu teor de sólidos totais atinge o percentual

¹⁸ MARGULIS, S. et al. **ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL**. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas – Centro Clima/COPPE/UFRJ., Rio de Janeiro p. 56-58.

¹⁹ SALES, L. R. **SELEÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR POTENCIAIS PARA PRODUÇÃO DE CACHAÇA ARTESANAL** (Dissertação apresentada a Universidade Federal de Lavras) Lavras, 2013.

²⁰ JUNIOR, J. N. **DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO TÉRMICO OTIMIZADO PARA MOSTO DE CALDO DE CANA NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA** (Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas) São Paulo, 2005.

²¹ SOUZA, L. M et al. **PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE QUALIDADE**. São Paulo, v. 1, p. 30-31, 2013.

²² GALDIANO, L. C. **QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE MATURADORES QUÍMICOS EM FINAL DE SAFRA** (Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias) São Paulo, 2008.

de 18 a 26 brix. Muitas das vezes este valor é influenciado de acordo com a variedade (VILELA²³, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 19).

A cana de açúcar é composta por sólidos solúveis entre outros componentes, que variam na sua composição como pode ser visto na **Tabela 2**.

Tabela 2- Composição da cana-de-açúcar e sólidos solúveis no caldo

Componentes da cana de açúcar	(%) em massa na cana-de-açúcar
Água	73-76
Sólido	24-27
Sólidos solúveis	10-16
Fibra (seca)	11-16
Constituinte do caldo de cana	(%) e sólidos solúveis
Açúcares	75-92
Sacarose	70-88
Glicose	2-4
Frutose	2-4
Sais	3,0- 4,5
Ácidos orgânicos	1,5-5,5
Ácidos carboxílicos	1,0-3,0
Aminoácidos	0,5-2,5
Outros não açúcares orgânicos	
Proteínas	0,5-0,6
Amido	0,001-0,100
Gomas	0,30-0,60
Ceras, Gorduras, fosfolipídios	0,05-0,15

Fonte: Chen Chou 1993 apud Hamerski²⁴ (2009) citado por SILVA, 2019 p. 20

²³ VILELA, A.F. **ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE CRITÉRIOS DE BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE FÁBRICAS DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE** (Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista) ARARAQUARA , 2005.

²⁴ HAMERSKI, F. **ESTUDO DE VARIÁVEIS NO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR** (dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em ciência de alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais) Minas Gerais, 2005 .

3.3.2 Recepção e armazenamento da matéria prima

A cana recebida no engenho deve ser estocada sobre uma superfície elevada do solo facilitando assim a limpeza com um tempo máximo de processamento de até 24 h, preferencialmente perto do local de extração do caldo (SOUZA²⁵, 2013 citado por SILVA, 2019 p. 21) .Pode-se dizer que esse tempo de processamento muitas das vezes é ultrapassado devido à quebra de moendas, chuva , isto faz com que a cana fique mais tempo em exposição , ocorrendo a degradação e a inversão da sacarose (NOGUEIRA et al²⁶, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 21).

Os principais fatores que facilitam a degradação do caldo é a alta concentração de água e nutrientes, que proporcionam a manutenção de fungos e bactérias (KUNITAKE²⁷, 2012 citado por SILVA, 2019 p. 21). Para tentar minimizar essas contaminações recomenda a lavagem da cana, retirando as impurezas como areia, cinzas, pedras, evitando assim desgaste exagerado nas moendas (SILVA²⁸, 2008 citado por SILVA, 2019 p. 21). Na **Figura 2** podemos observar a matéria prima utilizada no trabalho em dois momentos.

²⁵ SOUZA, L. M et al. **PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE QUALIDADE**. São Paulo, v. 1, p. 30-31, 2013.

²⁶ NOGUEIRA, A.M.P et al. **AGUARDENTE DE CANA** (Monografia apresentada a Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista) BOTUCATU, 2005.

²⁷ KUITAKE, M. T. **PROCESSAMENTO E ESTABILIDADE DO CALDO DE CANA ACIDIFICADO** (Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo) PIRASSUNUNGA, 2012

²⁸ SILVA, R. B. et al. **APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DO CALDO DE CANA PARA A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR**. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008. Disponível em: Acesso em: 09 janeiro. 2019.

Figura 2- Matéria prima utilizada no trabalho em dois momentos (a) Plantio em pedras de fogo; (b) Cana crua e queimada no laboratório de operações para extração do caldo



(a) Plantio em pedras de fogo



(b) Cana crua e queimada no laboratório de operações para extração do caldo

Fonte: Do autor (2019)

3.3.3 Extração do caldo

A moenda está presente desde a Brasil colônia, onde foi incorporada na produção em engenhos de cana-de-açúcar, era equipamento rústico movido por tração animal, com baixa eficiência. Com o passar do tempo as moendas passaram por diversas implementações e modernização, aumentando sua eficiência de extração podendo chegar de 97 % a 97,5 % de eficiência (NOVACANA²⁹, 2018 citado por SILVA, 2019 p. 22). O alcance desses resultados estão ligados diretamente ao preparo da matéria prima, realizado através de máquinas, desfibradores ou por seus próprios ternos de moenda (PAYNE³⁰, 1989 citado por SILVA, 2019 p. 22).

O bagaço oriundo da extração do caldo tem um alto valor agregado, é cada vez mais cobiçado por indústrias que necessitam desse produto para alimentar suas caldeiras. Com isso surgiram empresa especializadas na venda desse produto (CANAONLINE³¹, 2016 citado por SILVA, 2019 p. 22). Pode-se afirmar que a busca constante de desenvolvimento e aprimoramento nesse setor é fator importantíssimo para redução de custos, inovação tecnológicas e qualidade de produção. A

Figura 3 – ilustra a extração do caldo, realizado através de terno onde a matéria prima é processada e extraída o caldo de cana esse processo tem sua eficiência otimizada com sistema de embebição.

²⁹ NOVACANA. **FUNCIONAMENTO DE UMA USINA (DESTILARIA) DE ETANOL**: 2018 Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/funcionamento-usina-destilaria>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2019.

³⁰ PAYNE, J. H. (1989). **OPERAÇÕES UNITÁRIA NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR DE CANA**. Tradução Floreal Zarpelon. São Paulo: Nobel: STAB, 1989.

³¹ CANAONLINE. **PREÇO DO BAGAÇO DE CANA COMEÇA A REAGIR**: 2016 disponível em: http://www.canaonline.com.br/conteudo/preco-do-bagaco-de-cana-comeca-a-reagir.html#.XDC_ZIVKi1s>. Acesso em: 05 de janeiro de 2019

Figura 3- Extração do caldo com sistema de embebição.



Fonte: SILVA, 2019

3.3.4 Tratamento e Filtração do caldo

De acordo Ceballos - Schiavone³² (2009) citado por SILVA, 2019 p. 23, as contaminações do caldo têm sua origem na cana-de açúcar e outros minerais que vem do campo até a indústria, muitas das vezes essas contaminações são dos próprios equipamentos com falta de higienização. Segundo Lopes³³ (2011) citado por SILVA, 2019 p. 23, o caldo extraído tem uma quantidade grosseira de bagacilhos, argila, e areia necessitando de uma realização de filtração e decantação para retirada dessas impurezas.

O caldo de cana é considerado um ótimo meio de cultivo de microrganismo, por conter alta quantidade de água, pH que varia de 5,0 a 5,5. Os principais organismos presentes são de origem do solo e vegetais. (OLIVEIRA³⁴, 2006 citado por SILVA, 2019 p. 23).

³² CEBALLOS-SCHIAVONE, C. H. M. **TRATAMENTO TÉRMICO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A REDUÇÃO DE CONTAMINANTES BACTERIANOS - LACTOBACILLUS – NA PRODUÇÃO DE ETANOL E EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DO FERMENTO POR ETANOL** 177f (Dissertação Faculdade de Ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo) Piracicaba- SP, 2009.

³³ LOPES et. al, C.H. et al. **PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CANA-DE-AÇÚCAR**. São Carlos, v. 1, p. 45, 2011.

³⁴ OLIVEIRA, C. G et al. **ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DO COMÉRCIO DE CALDO DE CANA EM VIAS PÚBLICAS DE MUNICÍPIOS PAULISTAS**. Segurança Alimentar e Nutricional. Campinas, 2006.

O tratamento físico do caldo é de grande importância para o setor, fazendo com que tenha influência direta para obter um produto de qualidade e características físico-química dentro dos padrões estabelecidos. Podemos afirmar que estas contaminações surgem no processo devido à falta de cuidado e higiene, colaborando para o desenvolvimento de bolores e microrganismo que irão posteriormente degradar o caldo e resultar em um produto de características sensoriais que não atenda os consumidores. Ceballos- Schiavone³⁵ (2009) citado por SILVA, 2019 p. 23

3.3.5 Diluição do caldo

Segundo Gonçalves³⁶ (2015) citado por SILVA, 2019 p. 23, se faz necessário a realização da diluição para adequar ao Brix ideal de fermentação que se estabelece entre 15° a 16 ° Brix, através da adição de água potável ao caldo. Gonçalves (2015), ressalta que elevada concentração de açúcares no mosto resulta em uma fermentação lenta e elevados teores alcoólicos, interferindo diretamente no fermento com a redução do metabolismo das leveduras.

3.3.6 Fermentação alcoólica

Fermentação é definida bioquimicamente, como um processo de transformação de compostos orgânicos complexos em meio facultativo de oxigênio em substâncias simples formando álcoois e ácidos orgânico. (BASTOS³⁷, 2010 citado por SILVA, 2019 p. 23).

Segundo Silva³⁸ (2016) citado por SILVA, 2019 p. 24, para iniciar a fermentação são necessários microrganismo que consigam transformar esses açúcares em álcool,

³⁵ CEBALLOS-SCHIAVONE, C. H. M. **TRATAMENTO TÉRMICO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A REDUÇÃO DE CONTAMINANTES BACTERIANOS - LACTOBACILLUS – NA PRODUÇÃO DE ETANOL E EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DO FERMENTO POR ETANOL** 177f (Dissertação Faculdade de Ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo) Piracicaba- SP, 2009.

³⁶ GONÇALVES, C.M.; **USO DE LEVEDURA SELECIONADA EM ESCALA PILOTO PARA A PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

³⁷ BASTOS R.G. **TECNOLOGIAS DAS FERMENTAÇÕES FUNDAMENTOS DE BIOPROCESSOS**, São Carlos, p. 13-14, 2010.

³⁸ SILVA, A. P. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AGUARDENTE REDESTILADA EM FUNÇÃO DO GRAU ALCOÓLICO DO FLEGMA** (Dissertação apresentada para obtenção do título mestre em ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo) Piracicaba-SP, 2016

podendo ser obtidos naturalmente, denominado de fermento caipira, que vem com a cana presente no colmo e bainha da planta. Outro tipo de fermento é misto realizado uma combinação do fermento de panificação com caipira. Um dos mais utilizado é o fermento selecionado amplamente utilizado e difundido pelos principais produtores de cachaça, ele é o mais indicado para processo por estabelecer maiores rendimentos e qualidade a bebida em relação aos outros.

As leveduras são responsáveis pela obtenção do álcool, muitas vezes esse processo é conduzido com leveduras selvagens, ocasionando oscilação na bebida por falta de padronização. (GONÇALVES³⁹, 2015 citado por SILVA, 2019 p. 24).

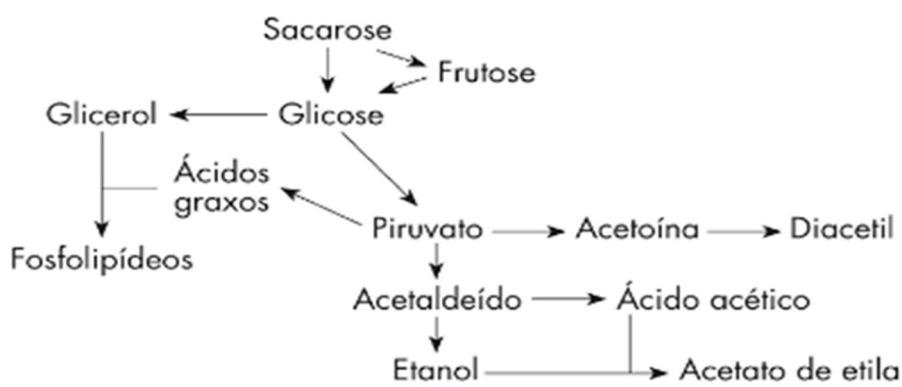
O metabolismo das leveduras é responsável por produzir compostos secundários, dando a bebida aroma e sabor, em quantidades menores são fatores que agregam valor ao produto. (PEREIRA⁴⁰, 2015 citado por SILVA, 2019 p. 24). A seleção de leveduras é uns dos principais fatores que afeta a produção de cachaça. Esses microrganismos são responsáveis por fornecer ao produto características sensoriais únicos e exclusivos

Na Figura 4 observa-se os compostos formados através das reações de oxidação das leveduras no mosto.

³⁹ GONÇALVES, C.M.; **USO DE LEVEDURA SELECIONADA EM ESCALA PILOTO PARA A PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

⁴⁰ PEREIRA, A.F. et al. **ADIÇÃO DE FONTES DE NITROGÊNIO E DE DUAS LINHAGENS DE LEVEDURAS NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA PRODUÇÃO DE CACHAÇA**. Revista de engenharia química, V.1, 2015.

Figura 4 - Reações que ocorrem no processo de fabricação da cachaça que influem no sabor e odor do produto



Fonte: Alcarde⁴¹ (2014) citado por SILVA, 2019 p. 24

Para a fermentação iniciar de forma homogênea e correta, é preciso ter nas dornas de fermentação uma certa quantidade de inóculo denominado de pé-de-cuba. É adicionado previamente nas dornas de fermentação cerca de 20 a 30 % de fermento ao volume total do mosto a ser fermentado. Com as leveduras previamente na dorna, é adicionado o caldo de cana diluído e ajustado para uma faixa de 14 a 16 ° brix. Recomenda-se que essas transferências do caldo a dorna sejam feitas de forma lenta por um certo período de tempo que varia de 6 a 8 horas, diminuindo assim o estresse nas leveduras e reduzindo a produção de compostos não desejáveis. GONÇALVES⁴², 2015 citado por SILVA, 2019 p. 24

A fermentação leva em torno de 24 h para consumir todos os açúcares que estão presentes no caldo no momento da fermentação. Ressaltando que esse tempo pode variar de acordo com a elaboração da fermentação e cuidados tomados em relação a temperatura, pH, concentração do pé de cuba e concentrações de açúcares. As principais indicações que a fermentação está no final são: diminuição de gás carbônico, redução gradativa da temperatura e diminuição do percentual dos teores

⁴¹ ALCARDE, A.R. **CACHAÇA: Ciência, Tecnologia e Arte**. São Paulo: Editora Edgard Bluchen, p. 96, 2010.

⁴² GONÇALVES, C.M.; **USO DE LEVEDURA SELECIONADA EM ESCALA PILOTO PARA A PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

de açúcar chegando a zero (CECATO-ANTONINI⁴³, 2010 citado por SILVA, 2019 p. 25).

O mosto após ser fermentado é denominado de vinho. Nesta etapa é realizado a decantação das leveduras que se depositam no fundo das dornas. O vinho sem leveduras é enviado para as panelas do alambique e o fermento é regenerado. Esse processo é denominado de batelada onde se repete a cada ciclo dando continuidade no processo (SILVA⁴⁴, 2016 citado por SILVA, 2019 p. 25).

Segundo Filho et al⁴⁵, (2013) citado por SILVA, 2019 p. 25, outras características para perceber a viabilidade do pé de cuba é o acompanhamento da fermentação que se faz através do número de células viáveis, que pode variar de 10^6 a 10^7 por mililitro no início da fermentação e 10^8 mililitro no fim da fermentação. Com esse acompanhamento podemos perceber a viabilidade da fermentação e antecipar possíveis problemas de contaminação no mosto.

3.3.7 Fatores que inibem a fermentação alcoólica

São vários os agentes de inibição da fermentação alcoólica associados a proliferação de bactérias e condições do meio que facilita a multiplicação desses microrganismos. Com a elevação dessa microbiota eles concorrem diretamente pelos nutrientes presentes no mosto que serviria de alimentação para as leveduras. Podemos destacar que no processo fermentativo há o surgimento de várias bactérias são elas *actobacillus*, *Bacillus* e *Leuconostoc*. (CECATO-ANTONINI⁴⁶, 2010 citado por SILVA, 2019 p. 25). Dentre os principais fatores que podem contribuir para inibir a fermentação temos: concentrações elevadas de substrato, nutrientes, pH, temperaturas entre outros. (SIQUEIRA⁴⁷ 1997 citado por SILVA, 2019 p. 26).

⁴³ CECATO-ANTONINI., S.R. MICROBIOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO MICROBIOLÓGICO EM DESTILARIAS, São Carlos, p. 14, 2010.

⁴⁴ SILVA, A. P. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE AGUARDENTE REDESTILADA EM FUNÇÃO DO GRAU ALCÓOLICO DO FLEGMA (Dissertação apresentada para obtenção do título mestre em ciência de alimentos - Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo) Piracicaba- SP, 2016.

⁴⁵ FILHO W.G.V. AGUARDENTE E CACHAÇA, Botucatu, p. 35, 2013

⁴⁶ CECATO-ANTONINI., S.R. MICROBIOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO MICROBIOLÓGICO EM DESTILARIAS, São Carlos, p. 14, 2010.

⁴⁷ SIQUEIRA, E.P. EFEITO DA TEMPERATURA NA CINÉTICA DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA CONTINUA COM ALTA DENSIDADE CELULAR (Tese apresentada a Faculdade de Engenharia de

3.3.7.1 Temperatura

De acordo com Ferreira⁴⁸ (2002) citado por SILVA, 2019 p. 26, a temperatura está intrinsicamente ligada ao processo de fermentação alcoólica, no qual temperaturas elevadas fazem com que cause uma desnaturação, provocando uma diminuição nas suas reações catabólicas. As leveduras têm uma faixa de temperatura ótima que varia de 25 °C a 35 °C para se desenvolverem, temperaturas acima dessas inibe o seu metabolismo e facilita a contaminação do mosto devido ao aumento do tempo de fermentação.

3.3.7.2 pH

O mosto extraído nas moendas tem uma faixa de pH entre 4,5 a 5,5. Isso faz com que não necessite de realizar o ajuste. As leveduras conseguem se adaptar em uma faixa de pH que varia de 4,5 a 5,0, percebemos que na fermentação uns dos maiores problemas é devido a acidificação do mosto causando a contaminação por bactérias acéticas, fazendo com que o metabolismo das leveduras seja afetado de maneira negativa diminuindo sua reprodução. Grande parte das bactérias se desenvolvem em faixa de pH que varia entre 6,5 a 7,0 enquanto que em meios ácidos em torno de 4,0 não se desenvolvem. (CECATO-ANTONINI⁴⁹, 2010 citado por SILVA, 2019 p. 26).

3.3.7.3 Glicerol

O Glicerol é um subproduto formado nas fermentações alcoólicas, o qual as leveduras produzem em consequência aos estresse osmóticos sofridos por altas

Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para o título mestre em engenharia de alimentos) Campinas- SP, 1997.

⁴⁸ FERREIRA, L. V. **ESTUDO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EM FRASCOS**

AGITADOS (Tese apresentada a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas) Campinas- SP, 2002.

⁴⁹ CECATO-ANTONINI., S.R. **MICROBIOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA A IMPORTÂNCIA DO MONITORAMENTO MICROBIOLÓGICO EM DESTILARIAS**, São Carlos, p. 14, 2010.

concentrações de açúcares presentes no mosto (AMARAL⁵⁰, 2009 citado por SILVA, 2019 p. 26).

De acordo com Gutierrez⁵¹, (1991) citado por SILVA, 2019 p. 26, a formação de Glicerol em dorna de fermentação faz com que aumente os níveis de sacarose. Isso ocorre devido as enzimas Glicólicas e redução das atividades das leveduras.

3.3.7.4 Concentração de substrato

Segundo Steinle⁵² (2013), citado por SILVA, 2019 p. 26, altas concentrações de açúcares acarretam na diminuição da reação de catalise das leveduras, fazendo com que ocorra perdas significativas nos processos. Quando percebido pelas leveduras, a grande quantidade de açúcar presente, é gerado um estresse que faz com que ocorra um desequilíbrio osmótico.

3.3.8 Destilação do vinho

A destilação acontece após a fermentação alcoólica. O principal objetivo é a separação do álcool e água através do ponto de ebulição de 100 °C para água e 78,4 °C para álcool, podendo variar com o grau alcoólico da solução. (LOPES et al⁵³, 2011 citado por SILVA, 2019 p. 27). Na destilação da cachaça deve-se verificar sempre as temperaturas de vaporização e condensação. Esses parâmetros são essenciais para que se tenha um produto de qualidade e dentro dos padrões regulamentados. O aquecimento faz com que ocorra a vaporização do líquido e formação de vapores que serão condensados surgindo novos componentes, decorrentes do processo de destilação influenciado pela matéria prima do alambique. (SOUZA⁵⁴, 2013 citado por SILVA, 2019 p. 27).

⁵⁰ AMARAL, F.S. **INFLUÊNCIA CONJUNTA DO pH, TEMPERATURAS E CONCENTRAÇÕES DE SULFITO NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE MOSTO DE SACAROSE** (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia) Uberlândia - MG, 2009.

⁵¹ GUTIERRES L.E. **PRODUÇÃO DE GLICEROL POR LINHAGENS DE SACCHAROMYCES DURANTE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA**, Piracicaba, São Paulo, p. 56-57, 1991.

⁵² STEILE, L.A. **FATORES QUE INTERFEREM NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA. (Monografia apresentada ao programa de pós-graduação em gestão do setor sucroalcooleiro) – Universidade Federal de São Carlos, Sertãozinho, 2013.**

⁵³ LOPES et. al, C.H. et al. **PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE CANA-DE-AÇÚCAR**. São Carlos, v. 1, p. 45, 2011.

⁵⁴ SOUZA, L. M et al. **PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE QUALIDADE**. São Paulo, v. 1, p. 30-31, 2013.

Normalmente a produção de cachaça é feita em alambiques de cobre largamente utilizado devido conseguirem retirar componentes indesejáveis da bebida, mas sua produção pode ser feita em alambiques de inox complementado com cobre normalmente realizada para processos industriais. A destilação pode ser realizada de forma descontínua pelo processo de separação das frações em alambiques de cobre e contínua realizado em colunas de aço inox com grande volume de produção. (GARCIA⁵⁵, 2016 citado por SILVA, 2019 p. 27). A destilação deve ser realizada de forma que o produto, preserve o aroma e o sabor dos principais componentes contidos na matéria prima formados através de reações químicas no interior dos alambiques no processo de destilação. (BRASIL⁵⁶, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 27).

A produção de cachaça em alambique de cobre não é por acaso, esse material faz com que ocorra uma maior facilidade na troca térmica, e consiga agregar sabores e odores por meio da destilação que em materiais diferentes não obteriam essas características sensoriais.

A escolha do cobre como matéria prima para fabricação do alambique é por ser um ótimo condutor térmico diminui o tempo de destilação da bebida. Reage também quimicamente com a cachaça e auxilia na remoção de algumas substâncias indesejáveis no processo. (CHAPIUSKI⁵⁷, 2017 citado por SILVA, 2019 p. 28).

A cachaça produzida em grandes partes dos engenhos, ainda tem uma produção muito arcaica, de modo que alguns produtores ainda sigam modelos de décadas atrás. Muitas vezes o processo de produção é afetado por falta de conhecimentos. Chama a atenção a contaminação da bebida por cobre decorrente da destilação. Muitas vezes esse excesso de cobre pode ser reduzido com a limpeza do alambique, bastando simplesmente a destilação do equipamento com água ou com água e limão. Isso faz com que os vapores arrastem o azinhavre das paredes do alambique (LIMA⁵⁸, 2006 citado por SILVA, 2019 p. 28).

⁵⁵ GARCIA, G. **TRATAMENTO DO CALDO E TIPOS DE FERMENTOS SOBRE OS COMPONENTES SECUNDÁRIOS E QUALIDADE DA CACHAÇA DE ALAMBIQUE** (Dissertação apresentada a faculdade de ciências agrárias e veterinária da Universidade Estadual Paulista) Jaboticabal, 2016.

⁵⁶ BRASIL. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. Instrução Normativa nº. 13, de 29 de junho de 2005. Brasília, 2005a. Disponível em <<http://imanet.ima.mg.gov.br/nova/gec/Legislacao/mapa/IN13.pdf>>. Acesso em: 2 de janeiro. 2019.

⁵⁷ CHAPIUSKI. **O QUE É O ALAMBIQUE E COMO É FEITO?** 2017. Disponível em: <<http://chapiuski.com.br/alambique/>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2019.

⁵⁸ LIMA, A. de J.B.; CARDOSO, M.G.; GUERREIRO, M. C. PIMENTEL, F. A. **QUIM. NOVA** 2006, 29, 207.

Segundo Nascimento⁵⁹ (1998) citado por SILVA, 2019 p. 28, uns dos principais desafios para a produção de cachaça de qualidade são decorrentes de contaminações provenientes de reações químicas e formação de novos compostos. Vários estudos estão sendo feitos para se obter novas tecnologias para tentar aprimorar ainda mais esse processo. A eliminação de íons de cobre é uns dos principais objetivos. Buscando por materiais que não colaborem com essas contaminações, passou a ser utilizado o aço inox na destilação da bebida, mas com o tempo foi observado que características sensoriais eram perdidas e odores de sulfetos eram percebidos, com isso foi adicionado cobre ao alambique para reduzir essas contaminações.

Na produção de cachaça de forma descontínua é realizado separações de frações, no qual são separados compostos de acordo com seu grau de evaporação facilitando sua quantificação. Na destilação por batelada pode ser retirada três frações denominadas de cabeça, coração e cauda. (VILELA⁶⁰, 2005 citado por SILVA, 2019 p. 28).

A separação das frações da bebida é iniciada pela cabeça. Muitas vezes são confundidas, por algumas pessoas como sendo uma cachaça de boa qualidade, mas o que esses consumidores levam em consideração é sua graduação alcoólica chegando a teores alcoólicos altos entre 65 a 70 % e, terem em suas composições, vários componentes. O volume desse álcool corresponde ao recolhimento de cerca de 1,0 a 2,0 % do volume total do vinho a ser destilado (SOUZA⁶¹, 2013 citado por SILVA, 2019 p. 28).

Logo após a retirada da cabeça, inicia-se a fração coração que é considerada a parte nobre da cachaça, amplamente apreciada devido aos seus sabores e odores característicos. Sua separação é iniciada quando sua graduação fica estabelecida em 60% e retira-se até 38 %, que corresponde cerca de 80 % do volume total destilado. É a parte destinada ao consumo e representa cerca de 80 % do volume total do destilado. (OLIVEIRA, et al⁶² 2015 citado por SILVA, 2019 p. 29).

⁵⁹ NASCIMENTO, R. F et al. **INFLUÊNCIA DO MATERIAL DO ALAMBIQUE NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AGUARDENTES DE CANA-DE-AÇÚCAR**. Departamento de Alimentos e Nutrição – FCF- UNESP- São Paulo.

⁶⁰ VILELA, A.F. **ESTUDO DA ADEQUAÇÃO DE CRITÉRIOS DE BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO NA AVALIAÇÃO DE FÁBRICAS DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE** (Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista) ARARAQUARA, 2005.

⁶¹ SOUZA, L. M et al. **PRODUÇÃO DE CACHAÇA DE QUALIDADE**. São Paulo, v. 1, p. 30-31, 2013.

⁶² OLIVEIRA, R. E.S. et al. **SISTEMA DE DESTILAÇÃO DE EMPRESAS PRODUTORAS DE CACHAÇA DE DO ESTADO DA PARAÍBA**. Departamento de Engenharia de Alimentos – UFPB- Paraíba, 2015.

Cauda é a parte final da destilação onde é esgotada praticamente toda graduação alcoólica, nessa etapa deve ser observado o ponto correto de separação entre coração e cauda devido a sua turvação. Normalmente são retirados cerca de 1,0% do volume do vinho colocado no alambique. As frações provenientes da cabeça e cauda são descartadas por apresentarem componentes não desejáveis. (OLIVEIRA, 2010⁶³ citado por SILVA, 2019 p. 29).

A destilação é uns dos gargalos que se deve ter toda atenção para fabricação da bebida, através dela podemos separar compostos irrelevantes e ao mesmo tempo separar frações que podem agregar valor à bebida através de reações químicas dos componentes de volatilidade. Para que se obtenha uma bebida de boa qualidade é necessário realizar otimizações do processo, fazendo com que a destilação selecione e concentre os vinhos do caldo de cana. (SOUZA⁶⁴, 2009 citado por SILVA, 2019 p. 29).

⁶³ OLIVEIRA, A.M.L. **O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA ARTESANAL E SUA IMPORTÂNCIA COMERCIAL** (Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais) Belo Horizonte - MG , 2010.

⁶⁴ SOUZA, P.A. **PRODUÇÃO DE AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR POR DUPLA DESTILAÇÃO EM ALAMBIQUE RETIFICADOR** (Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em ciências) Piracicaba, 2009.

3.4 Cromatografia gasosa

A cromatografia gasosa (CG) é uma técnica com alto poder de resolução, possibilitando a análise de várias substâncias em uma mesma amostra. Dependendo da substância a ser analisada e do tipo de detector empregado pode-se detectar cerca de 10-12g do composto por mL⁻¹, o que permite que pequenas quantidades da amostra sejam analisadas (PERES, 2002). Esta técnica está baseada na partição dos componentes de uma amostra entre a fase móvel gasosa e a fase estacionária líquida ou sólida, que propiciam a separação da mistura por meio de processos físicos e químicos (DEGANI⁶⁵ et al. citado por GOULART, 2012 p. 6, 1998; PERES⁶⁶, 2002 citado por GOULART, 2012 2019 p. 6). A grande limitação deste método é a necessidade de que a amostra seja volátil ou termicamente estável (PERES, 2002).

3.4.1 História

Usos típicos da Cromatografia Gasosa incluem teste de pureza de uma substância em particular, ou separação de diversos componentes de uma mistura (as quantidades relativas de um determinado componente também podem ser determinadas). Em algumas situações, a Cromatografia Gasosa pode ajudar a identificar um composto. Em química de microescala, Cromatografia Gasosa pode ser usada para preparar compostos puros de uma mistura.(PAVIA, 2006)

Em cromatografia gasosa, a *fase em movimento* (ou "fase móvel") é um gás transportador, normalmente um gás inerte tal como o hélio ou um gás não reativo tal como o nitrogênio. A *fase estacionária* é uma camada microscópica de líquido ou polímero sobre um sólido inerte, dentro de uma peça tubular de vidro ou metal chamada *coluna*. O instrumento usado para realizar a cromatografia gasosa é chamado *cromatógrafo a gás* (mais raramente "aerógrafo" ou "separador a gás").

Os compostos gasosos sendo analisados interagem com as paredes da coluna, a qual é revestida com diferentes fases estacionárias. Isto causa que cada composto

⁶⁵ DEGANI, A. L.; CASE, Q. L.; VIERA, P. C. Cromatografia um breve ensaio. Química nova na escola, São Paulo, n. 7, p. 21-25, 1998.

⁶⁶ PERES, T. B. Noções básicas de cromatografia. Biológico, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 227-229, 2002.

"elui" a um tempo diferente, conhecido como *tempo de retenção* do composto. A comparação de tempos de retenção é que dá a Cromatografia Gasosa sua eficiência analítica.

Cromatografia gasosa é em princípio similar à cromatografia em coluna (assim como outras formas de cromatografia, tal como a *HPLC*, *TLC*), mas tem diversas diferenças notáveis. Primeiramente, o processo de separação dos compostos em uma mistura é carregada entre uma fase líquida estacionária e uma fase de gás em movimento, enquanto na cromatografia em coluna a fase estacionária é um sólido e a fase móvel é um líquido. (Por este motivo o nome completo adequado do procedimento é "cromatografia gás-líquido", referindo-se às fases móveis e estacionárias, respectivamente.) Secundariamente, a coluna através da qual a fase gasosa passa é localizada em um forno onde a temperatura do gás pode ser controlada, enquanto a cromatografia em coluna (tipicamente) não possui qualquer controle de temperatura. Em terceiro lugar, a concentração de um composto na fase gás é unicamente uma função da pressão de vapor do gás. (PAVIA, 2006)

Cromatografia gasosa é também similar a destilação fracionada, devido a ambos os processos separarem os componentes de uma mistura primariamente baseando-se em diferentes pontos de ebulição (ou pressões de vapor). Entretanto, a destilação fracionada é tipicamente usada para separar componentes de uma mistura em grande escala, enquanto CG pode ser usada numa escala muito menor (*i.e.* microescala). (PAVIA, 2006)

Cromatografia gasosa é também algumas vezes conhecida como **cromatografia em fase vapor** (CFC), ou **cromatografia de partição gás-líquido** (CPGL). Estes nomes alternativos, assim como suas respectivas abreviações, são frequentemente encontradas em literatura científica. Estritamente falando, CFGL é a mais correta terminologia, e é então preferível por muitos autores. (PAVIA, 2006)

3.4.2 Análise através de Cromatografia Gasosa

Uma **cromatografia gasosa** é um processo de análise química instrumental por separação de compostos químicos e uma amostra complexa. Uma cromatografia gasosa usa um tubo estreito através do qual se dá o fluxo conhecido como *coluna*, através do qual diferentes constituintes de uma amostra passam em uma corrente de gás (gás condutor, ou transportador, a *fase móvel*) em diferentes taxas dependendo de várias propriedades físicas e químicas e suas interações com um específico recheio da coluna, chamada *fase estacionária*. Como os compostos químicos saem no final da coluna, são detectados e identificados eletronicamente. A função da fase estacionária na coluna é separar componentes diferentes, causando a cada um saída da coluna em um tempo diferente (*tempo de retenção*). Outros parâmetros que podem ser usados para alterar a ordem ou tempo de retenção são a taxa de fluxo do gás condutor e a temperatura. (PAVIA, 2006)

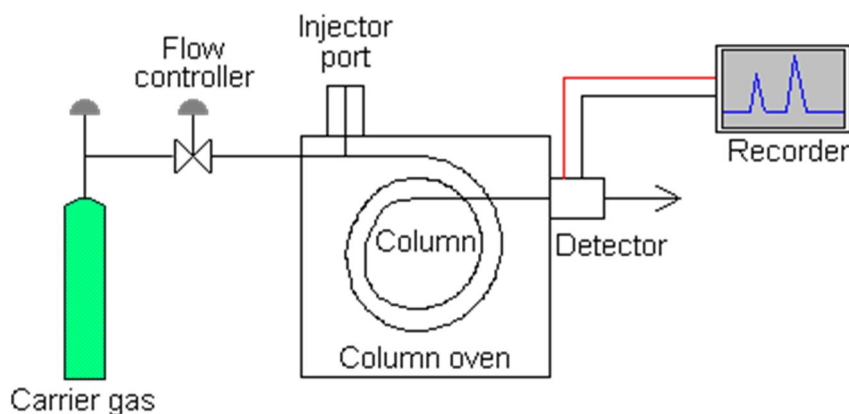
Em uma análise CG, um volume conhecido de analito gasoso ou líquido é injetado na entrada da coluna, geralmente com o uso de uma microseringa (ou com fibras de microextração de fase sólida, ou). Conforme o gás carregador leva as moléculas do analito através da coluna, essa movimentação é inibida pela adsorção das moléculas do analito nas paredes da coluna ou no material do empacotamento da mesma. A taxa com que as moléculas progridem ao longo da coluna depende da força da adsorção que, por sua vez, depende do tipo de molécula e do material da fase estacionária. Uma vez que cada tipo de molécula tem uma taxa de progressão diferente, os vários componentes da mistura de analito são separados conforme progridem ao longo da coluna, chegando ao fim dela em momentos diferentes (tempos de retenção). Um detector é empregado para monitorar o fluxo de saída da coluna. Assim, o momento em que cada componente sai da coluna, e a quantidade deles, pode ser determinada. Geralmente, as substâncias são identificadas (qualitativamente) pela ordem na qual emergem (eluem) da coluna e pelo tempo de retenção do analito na coluna. (PAVIA, 2006)

3.4.3 Componentes físicos

A cromatografia em fase gasosa - especificamente a cromatografia gás-líquido - envolve uma amostra que é vaporizada e injetada na cabeça da coluna cromatográfica. A amostra é transportada através da coluna pelo fluxo da fase móvel inerte e gasosa. A própria coluna contém uma fase estacionária líquida que é adsorvida na superfície de um sólido inerte. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

Dê uma olhada neste diagrama esquemático de um cromatógrafo a gás: (figura 5)

Figura 5 - Diagrama de um cromatógrafo gasoso.



Fonte: (PAVIA, 2006)

3.4.3.1 Componentes instrumentais

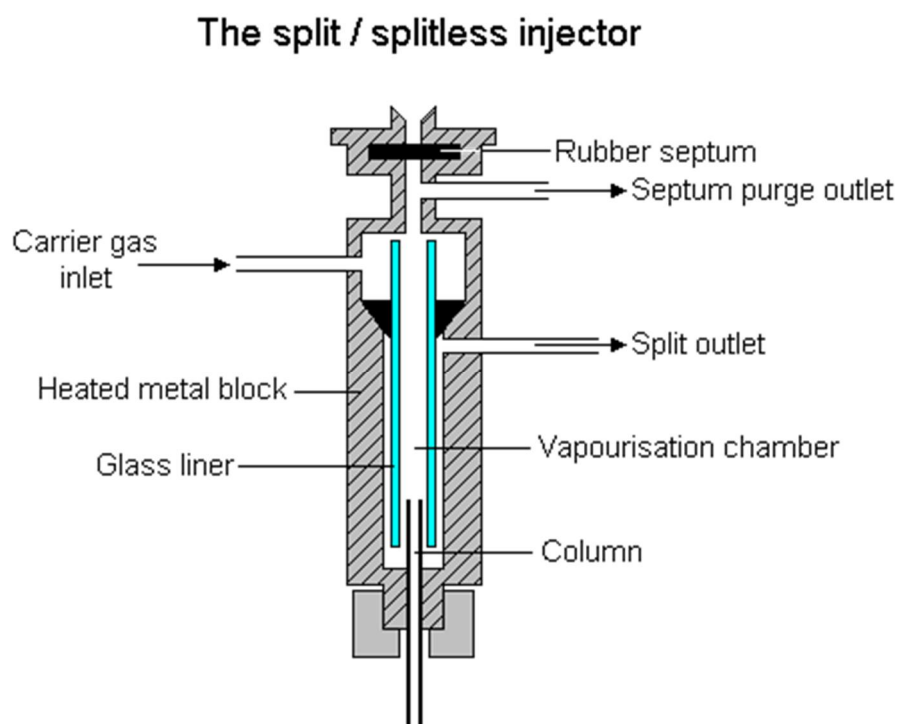
Gás transportador

O gás portador deve ser quimicamente inerte. Gases comumente usados incluem nitrogênio, hélio, argônio e dióxido de carbono. A escolha do gás de arraste geralmente depende do tipo de detector usado. O sistema de gás de arraste também contém uma peneira molecular para remover a água e outras impurezas. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

3.4.3.2 Porta de injeção de amostra

Para otimizar a eficiência da coluna, a amostra não deve ser muito grande e deve ser introduzida na coluna como um "tampão" de vapor - a injeção lenta de amostras grandes causa ampliação da banda e perda de resolução. O método de injeção mais comum é o local em que uma micro-seringa é usada para injetar amostra através de um septo de borracha em uma porta de vaporizador instantâneo na cabeça da coluna. A temperatura da porta de amostra é geralmente cerca de 50 ° C mais alta que o ponto de ebulição do componente menos volátil da amostra. Para colunas compactadas, o tamanho da amostra varia de décimos de microlitro a 20 microlitros. As colunas capilares, por outro lado, precisam de muito menos amostra, geralmente em torno de 10^{-3} mL. Para GC capilar, é usada injeção com / sem divisão. Veja este diagrama de um injetor com divisão / sem divisão; **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019). Figura 6.**

Figura 6 - Porta de injeção de amostra.



Fonte: (PAVIA, 2006)

O injetor pode ser usado em um de dois modos; dividido ou sem divisão. O injetor contém uma câmara aquecida contendo um revestimento de vidro no qual a amostra é injetada através do septo. O gás transportador entra na câmara e pode sair por três rotas (quando o injetor está no modo dividido). A amostra vaporiza para formar uma mistura de gás portador, solvente vaporizado e solutos vaporizados. Uma proporção dessa mistura passa para a coluna, mas a maioria sai pela saída dividida. A saída de purga do septo impede que os componentes de sangria do septo entrem na coluna. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

3.4.3.3 Colunas

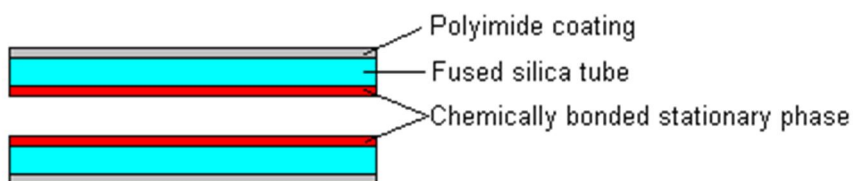
Existem dois tipos gerais de coluna, *compactada* e *capilar* (também conhecida como *tubular aberta*). As colunas empacotadas contêm um material de suporte sólido finamente dividido, inerte (comumente baseado em *terra de diatomáceas*) revestido com fase estacionária líquida. A maioria das colunas compactadas tem um comprimento de 1,5 a 10 m e um diâmetro interno de 2 a 4 mm. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

As colunas capilares têm um diâmetro interno de alguns décimos de milímetro. Eles podem ser de dois tipos; *tubular aberto revestido em parede* (WCOT) ou *tubular aberto revestido em suporte* (SCOT). As colunas revestidas de parede consistem em um tubo capilar cujas paredes são revestidas com fase estacionária líquida. Nas colunas revestidas de suporte, a parede interna do capilar é revestida com uma fina camada de material de suporte, como terra de diatomáceas, sobre a qual a fase estacionária foi adsorvida. As colunas SCOT são geralmente menos eficientes que as colunas WCOT. Ambos os tipos de coluna capilar são mais eficientes do que as colunas compactadas. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

Em 1979, um novo tipo de coluna WCOT foi desenvolvido - a coluna *Tubo Aberto de Sílica Fundida* (FSOT); Figura 7.

Figura 7 Colunas

Cross section of a Fused Silica Open Tubular Column



Fonte: (PAVIA, 2006)

Elas possuem paredes muito mais finas que as colunas capilares de vidro e são reforçadas pelo revestimento de poliimida. Essas colunas são flexíveis e podem ser enroladas em bobinas. Eles têm as vantagens de força física, flexibilidade e baixa reatividade. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

3.4.3.4 Temperatura da coluna

Para um trabalho preciso, a temperatura da coluna deve ser controlada em décimos de grau. A temperatura ideal da coluna depende do ponto de ebulição da amostra. Como regra geral, uma temperatura ligeiramente acima do ponto de ebulição médio da amostra resulta em um tempo de eluição de 2 a 30 minutos. Temperaturas mínimas fornecem boa resolução, mas aumentam os tempos de eluição. Se uma amostra possui uma ampla faixa de ebulição, a programação da temperatura pode ser útil. A temperatura da coluna é aumentada (continuamente ou em etapas) à medida que a separação prossegue. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

3.4.3.5 Detectores

Existem muitos detectores que podem ser usados em cromatografia gasosa. Diferentes detectores fornecerão diferentes tipos de seletividade. Um detector *não seletivo* responde a todos os compostos, exceto o gás transportador, um *detector seletivo* responde a uma variedade de compostos com uma propriedade física ou química comum e um *detector específico* responde a um único composto químico. Os detectores também podem ser agrupados em *detectores dependentes de concentração* e *detectores dependentes de fluxo de massa*. O sinal de um detector dependente da concentração está relacionado à concentração de

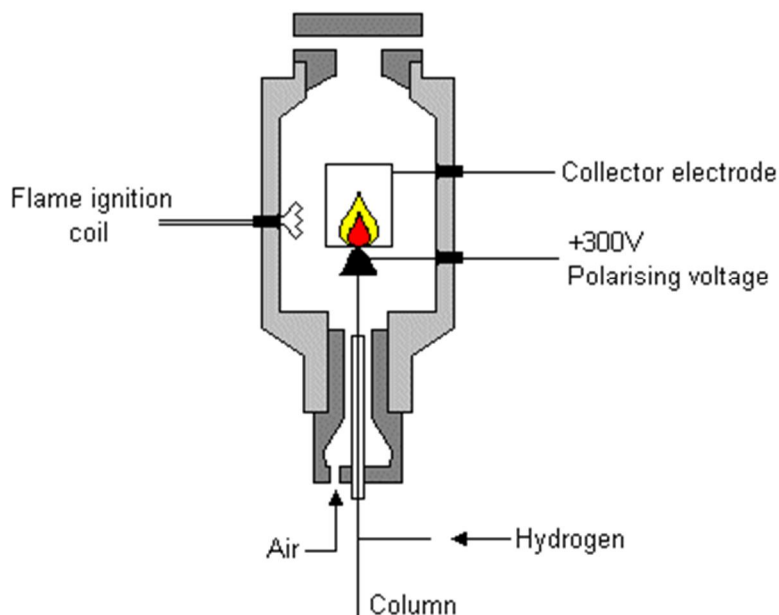
soluto no detector e geralmente não destrói a amostra. A diluição com gás de reposição diminui a resposta do detector. Os detectores dependentes do fluxo de massa geralmente destroem a amostra e o sinal está relacionado à taxa na qual as moléculas de soluto entram no detector. A resposta de um detector dependente do fluxo de massa não é afetada pelo gás de reposição. Dê uma olhada neste resumo tabular dos detectores comuns de GC: **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019)**. Figura 8 e Tabela 3

Tabela 3 Tipos de Detectores

Detector	Tipo	Gases de suporte	Seletividade	Detectabilidade	Faixa dinâmica
Ionização por chama (FID)	Fluxo de massa	Hidrogênio e ar	A maioria dos cpds orgânicos.	100 pg	10^7
Condutividade térmica (TCD)	Concentração	Referência	Universal	1 ng	10^7
Captura de elétrons (ECD)	Concentração	Maquiagem	Halogenetos, nitratos, nitrilos, peróxidos, anidridos, organometálicos	50 fg	10^5
Nitrogênio-fósforo	Fluxo de massa	Hidrogênio e ar	Nitrogênio, fósforo	10 pg	10^6
Fotometria de chama (DPF)	Fluxo de massa	Hidrogênio e ar, possivelmente oxigênio	Enxofre, fósforo, estanho, boro, arsênico, germânio, selênio, cromo	100 pg	10^3
Foto-ionização (PID)	Concentração	Maquiagem	Alifáticos, aromáticos, cetonas, ésteres, aldeídos, aminas, heterocíclicos, organossulfuros, alguns organometálicos	2 páginas	10^7
Condutividade eletrolítica de Hall	Fluxo de massa	Hidrogênio, oxigênio	Iodetos, nitrogênio, nitrosamina, enxofre		

Figura 8 - Detector.

The Flame Ionisation Detector



Fonte: (PAVIA, 2006)

O efluente da coluna é misturado com hidrogênio e ar e inflamado. Compostos orgânicos queimando na chama produzem íons e elétrons que podem conduzir eletricidade através da chama. Um grande potencial elétrico é aplicado na ponta do queimador e um eletrodo coletor está localizado acima da chama. A corrente resultante da pirólise de qualquer composto orgânico é medida. Os FIDs são sensíveis à massa e não à concentração; isso oferece a vantagem de que mudanças na taxa de fluxo da fase móvel não afetam a resposta do detector. O FID é um detector geral útil para a análise de compostos orgânicos; possui alta sensibilidade, uma ampla faixa de resposta linear e baixo ruído. Também é robusto e fácil de usar, mas infelizmente destrói a amostra. **CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, (2019).**

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos laboratórios de Tecnologias Sucroalcooleira e Operações Unitárias, localizado no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), no qual faz parte da Universidade Federal da Paraíba.

Foram realizadas as etapas de operações unitárias, que são empregadas no processo de produção da cachaça, que foi desde a etapa de extração do caldo até a destilação para obtenção da cachaça. No decorrer das etapas foram realizadas análises de extrema importância que são: pH, teor alcoólico, monitoramento da temperatura das dornas e verificado o índice de sólidos solúveis (Brix), que são fatores fundamentais para produção de uma cachaça de boa qualidade.

4.1 Cana-de-açúcar

A matéria prima foi obtida no município de Pedra de Fogo situado a uma distância de aproximadamente 55 Km da capital paraibana, fornecida por um aluno do curso.

O processamento da cana-de-açúcar foi realizado no laboratório de operações Unitárias, onde foi pesada, separada, moída e analisada corretamente para a obtenção do caldo, cana esta da mesma variedade, apenas separada a metade para queima.

4.1.1 *Preparo da matéria prima para fermentação*

Foi realizado o processamento da matéria prima, seguindo rigorosamente o procedimento e as etapas que foi repassada visando diminuir interferência do meio e com isso obter resultados reais das possíveis interferências sofrida no decorrer do processo.

A matéria prima passou por um processo de limpeza, pesagem, extração do caldo e peneiramento do caldo.

A Limpeza foi realizada com o intuito de diminuir as impurezas que vem da lavoura decorrente do carregamento, no qual foi feito a retirada da palha. Logo após foi realizada a pesagem da matéria prima, obtendo ao todo cerca de 92 Kg de cana-de-açúcar, sendo que esta quantidade foi dividida em duas partes, cana crua com 50

Kg e cana queimada com 42 Kg, para realização do trabalho proposto com controle de temperatura e observar o andamento da fermentação em ambas. Depois de pesada a matéria prima foi levada para etapa de extração, que foi realizada no laboratório de operações unitárias, onde foi obtido cerca de 37 litros de caldo, sendo que obtivemos cerca de 20,3 L de caldo da cana crua e 16,5 L de caldo da cana queimada.

O rendimento do caldo varia de acordo com o índice de extração da moenda. E como foi utilizado uma moenda de pequeno porte, foi observado que o rendimento da moenda estava em 40% da capacidade de extração.

Feito isso o caldo passou por uma peneira para retirada de materiais grosseiros e bagacilhos, decorrente da extração e dos processos anteriores. Logo após extração foi realizado a medição do brix referente aos sólidos solúveis totais e pH, fatores que são preponderantes para desenvolver a fermentação alcoólica.

Na **Figura 9** podemos observar as etapas desenvolvidas no laboratório para obtenção do caldo de cana.

Figura 9- Procedimento para extração do caldo, peneiramento do caldo e descarte do bagaço



Extração do caldo

1º Peneiramento



3º Peneiramento

2º Peneiramento



Descarte do bagaço

Fonte: Do autor (2019)

Finalizando as etapas anteriores, todo o caldo passou por um processo de aquecimento, até a fervura do caldo, por 10 minutos, onde o objetivo era certificar-se

que todas as leveduras selvagens e microrganismos não iriam interferir na elaboração dos experimentos e estabelecer que todas as dornas onde os caldos foram armazenados estariam padronizadas e com as mesmas leveduras. O pé de cuba usado na elaboração das fermentações foi elaborado no próprio laboratório, com o auxílio do orientador.

Na realização da análise do caldo de cana através de um pHmetro e um refratômetro foi verificado que sua concentração de sólidos solúveis inicial Brix era de 19,4, em ambas, tanto na cana crua e para a cana queimada, já o seu pH ficava estabelecido em torno de 5,28 para cana crua e 5,22 para cana queimada. Desta forma o caldo de cana passou por um pH 4,0, pH este recomendado pela literatura.

Na tabela 3, vemos os volumes utilizados em cada dia, para a formação do pé de cuba, totalizando 18 litros, este volume foi dividido em 3x6 litros para posterior destilação.

O caldo foi posto em dornas de vidro inicialmente, mas tivemos que alterar devido ao volume, com isso foi utilizado dornas de (plástico rígido) cujo volume total corresponde a 20 litros sendo que foi utilizado 18 litros de caldo, tanto da cana crua, quanto da cana queimada incluído o pé de cuba, todas as dornas foram adaptadas para receber o caldo de cana juntamente com o pé cuba, na realização da fermentação controlada as dornas foram equipadas com sistemas de aquecimento e sensores de temperatura para manter as temperaturas constante no interior das dornas, da mesma forma as dornas contavam com ventiladores que serviam para dissipar o calor em sua volta e assim favorecer o resfriamento das fermentações quando necessária.

Na Figura 10 observamos o processo de fermentação com controle de temperatura (32 °C em condições ideais e respectivamente os equipamentos acoplados ao banho-maria para manutenção da temperatura e resfriamento.

Figura 10- Dornas com sensores de temperatura.



Fonte: Do autor (2019)

4.2 Destilação do vinho fermentado

A destilação ocorreu em um mini alambique com capacidade para destilar 8 litros de vinho fermentado, o destilador tinha seu material composto por aço inox na panela do alambique e cobre na sua serpentina.

O resfriamento da água do condensador foi feito com o uso de um chille, que mantinha a água de resfriamento em torno de -2 a 10 °C.

A circulação dessa água de resfriamento, foi feita com o uso de três bombas de aquário.

Antes da destilação, o vinho fermentado foi submetido a um preaquecimento a uma temperatura de 50 a 60 °C, com o intuito de agilizar o início da destilação.

As destilações foram feitas após o quarto dia de fermentação quando verificou-se a diminuição do brix do vinho de 15 para 1,7 °brix, sendo um dos indicadores de que a fermentação chegou ao fim.

No aquecimento dos alambiques foi utilizado um fogão elétrico onde era monitorada frequentemente a temperatura para evitar que as mesmas ficassem muito elevadas evitando assim uma destilação rápida e consequentemente o arraste de água junto com o álcool.

A destilação que teve duração de aproximadamente 2 horas, iniciou-se quando a temperatura dentro da panela do alambique chegou em torno de 88 °C, nesta temperatura iniciou o gotejamento dentro da proveta e na medida que o álcool era separado a temperatura dentro da panela do alambique aumentava gradativamente. Foram separados na destilação coração e cauda e posteriormente organizadas para serem efetivadas as análises das amostras.

Nas **Figura 11 e 9**, podemos verificar os equipamentos envolvidos no processo de destilação da cachaça realizado através das separações das frações composta por uma solução binária de álcool e água. Na medida que o álcool vai evaporando o vapor vai passando por serpentina de cobre onde é consequentemente condensado.

Figura 11- Equipamentos utilizados para a destilação



Alambique de inox e serpentina de cobre



Termômetro acoplado no alambique



Chille para resfriamento da água do condensador



Condensador com serpentina de cobre



Saída das frações do destilado

Figura 12- Equipamentos utilizados para a destilação



Temperatura da água do condensador

Fonte: Do autor (2019)



Circulação da água de resfriamento

4.3 Análises físico químicas da cachaça

Nesse trabalho foi possível realizar as destilações com o vinho fermentado mantido em temperaturas constante (32 °C), com isso foi colhido amostras para serem feitas análises.

Algumas das análises físicas químicas da cachaça foram realizadas no Laboratório de Tecnologia em produção Sucroalcooleira.

A cromatografia que é uma análise mais detalhada foi realizada em uma Usina próximo a cidade de Mamanguape, foi separado quatro amostras com duas frações de cada, sendo de cana crua e cana queimada, respectivamente de coração e calda.

O cromatografo gasoso, utilizado foi o da marca Agilent Technologies, modelo 7820^a.

Neste trabalho foram feitas análises de pH, densidade, Grau alcoólico e cromatografia.

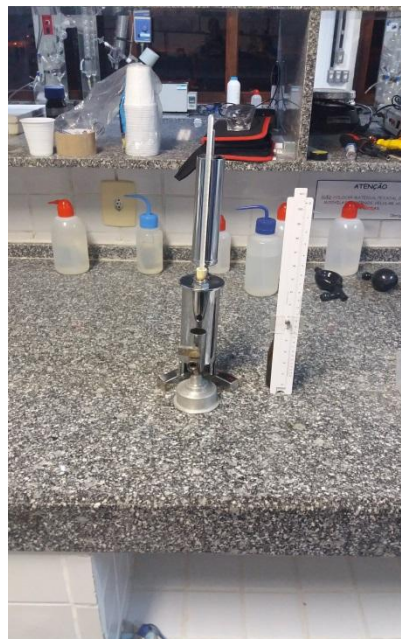
Na Figura 13 podemos observar alguns dos principais equipamentos utilizados para determinar a qualidade da cachaça e com isso quantificar o produto.

Figura 13- Densímetro digital, utilizado para verificar o °GL e as densidades das amostras(a), Ebuliômetro (b).

(a)



(b)



Fonte: Do autor (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item vai demonstrar os resultados obtidos do acompanhamento da fermentação e destilação com cana crua e cana queimada, que afetam a qualidade da cachaça.

5.1 pH, brix e temperatura

O desenvolvimento da fermentação alcoólica está ligado diretamente há fatores intrínsecos e extrínsecos do meio, no qual variações de substrato, ph e temperaturas interferem diretamente na realização da fermentação.

Na Tabela 4 estão dispostos os parâmetros físico-químicos acompanhados durante a realização deste trabalho.

Tabela 4 Estão descritos os parâmetros obtidos durante o acompanhamento das fermentações.

Dias	Cana Crua					Cana Queimada				
	Brix Inicial °Bx	Brix Final °Bx	pH	Teor alc °GL	Volume Total ⁶⁷ mL	Brix Inicial °Bx	Brix Final °Bx	pH	Teor alc °GL	Volume Total
1° Dia	6,0	0,8	4,00	2,5	5000	6,0	0,7	4,00	2,3	5000
2° Dia	9,0	0,8	4,05	2,8	2500	9,0	0,7	4,08	2,9	2500
3° Dia	12,0	0,8	4,01	3,7	5000	12,0	0,9	4,05	3,6	5000
4° Dia	15,0	1,7	4,01	5,5	5500	15,0	1,7	4,02	5,2	5500
					18000					18000

Fonte: Do autor (2019)⁶⁸

⁶⁷ Composto por caldo + água.

⁶⁸ Temperatura da fermentação mantida em 32°C.

Fica evidente que no processo de fermentação alcoólica o controle de temperatura é essencial para que as leveduras possam desenvolver o seu metabolismo, levando apenas um período de 24 h para observar elevação significativa do grau alcoólico e redução da concentração dos sólidos solúveis presentes no mosto.

A temperatura fixada em 32°C, favoreceu o desenvolvimento celular das leveduras presentes no interior das dornas, ocorrendo uma maior multiplicação do fermento e conseqüentemente uma conversão dos açúcares em álcool e gás carbônico que são excretados pelas leveduras no momento da fermentação. (SILVA, 2019)

Na **Tabela 5** são apresentados os parâmetros obtidos decorrente da destilação da cachaça com controle de temperatura.

Tabela 5 - Parâmetros obtidos das análises físico-químicas das amostras das cachaças após o processo de destilação.

Cana Crua	Frações	Acidez Total ⁶⁹ (mg/100 ml)	pH	Teor alcoólico GI°
	Coração	11,3376	4,86	42,5
	Cauda	12,4713	4,67	28,9
Cana Queimada	Frações	Acidez Total (mg/100 ml)	pH	Teor alcoólico GI°
	Coração	10,2038	5,01	41,6
	Cauda	12,4713	4,58	29,4

Os resultados da **Tabela 5**, para **Acidez Total**, **pH** e **Teor alcoólico**, tanto para a cana crua quanto para a cana queimada, nas duas frações obtidas, apresentam valores, muito próximos, mostrando que a queima da cana, em termos dos resultados apresentados, interfere muito pouco.

⁶⁹ Legislação estabelece que o limite máximo de ácido acético 150 mg /100 ml da amostra.

5.2 Análise cromatográfica

Na segunda parte começamos pela análise por cromatografia gasosa , utilizando esse equipamento (marca Agilent Technologies, modelo 7820A) obtemos a separação de todos os compostos para os quais haviam padrões disponíveis, que são eles: Acetaldeído, Metanol, Acetona, n-Propanol, Diacetil, Acetato de Etila, sec-Butanol, iso-Butanol, n-Butanol, iso-Amílico, Furfural, apresentados na Tabela 6 e na Tabela 7, os valores permitidos pela legislação brasileira.

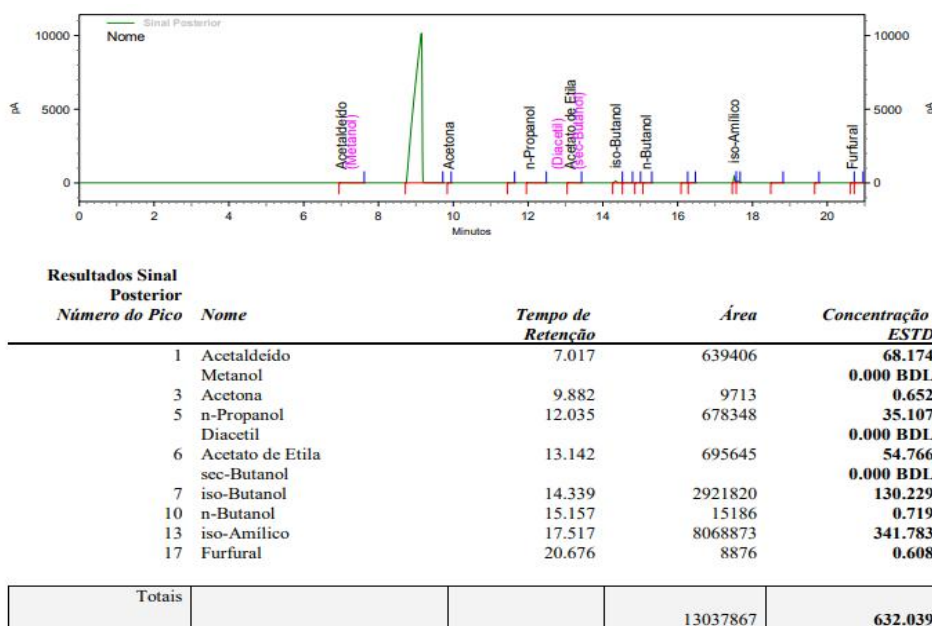
Tabela 6 - Características físicas e químicas para a aguardente de cana-de-açúcar e cachaça, estabelecidas pela legislação brasileira (MIRANDA , 2007)

Componente	Unidade	Limite	
		Mínimo	Máximo
Acidez volátil, em ácido acético	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	-	150
Ésteres, em acetato de etila	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	-	200
Aldeídos, em aldeído acético	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	-	30
Furfural + hidroximetilfurfural	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	-	5
Álcoois superiores*	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	-	360
Congêneres**	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	200	650
Álcool metílico	mg.100 mL ⁻¹ álcool anidro	-	20
Cobre	mg.L ⁻¹	-	5
Extrato seco	g.L ⁻¹	-	6***

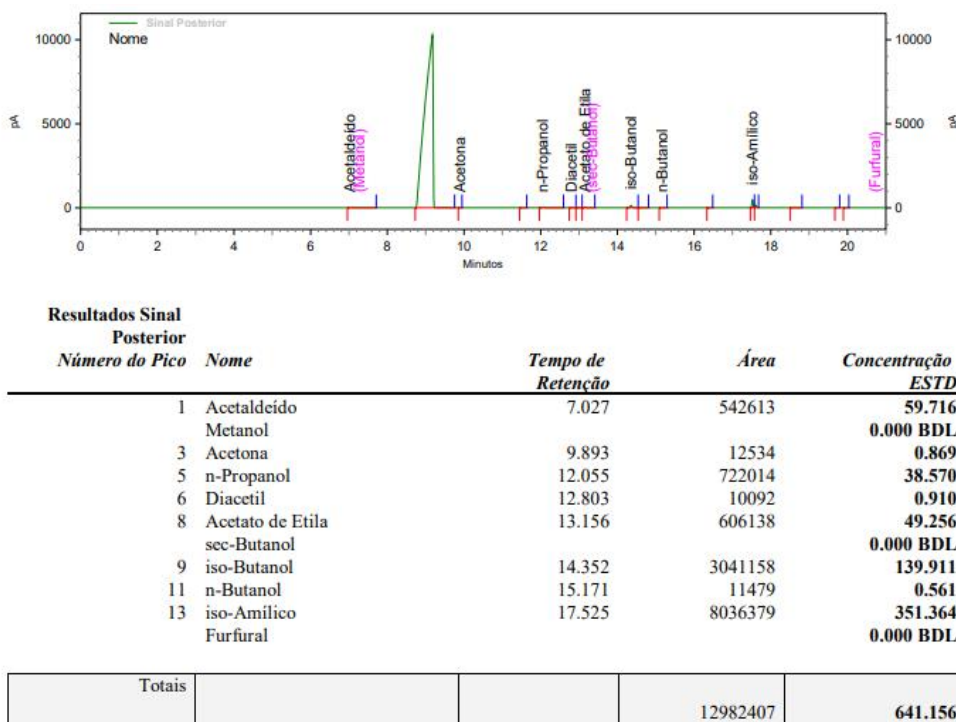
*Álcoois superiores = (isobutílico + isoamílicos + n-propílico); **Congêneres = (acidez volátil + ésteres + aldeídos + furfural/hidroximetilfurfural + álcoois superiores); e ***Aguardente de cana ou cachaça "adoçada" = máximo 30 g.L⁻¹.

Tabela 7 - Aguardente de melação, de cereal, de vegetal, de rapadura e de melado.(INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA, 2011)

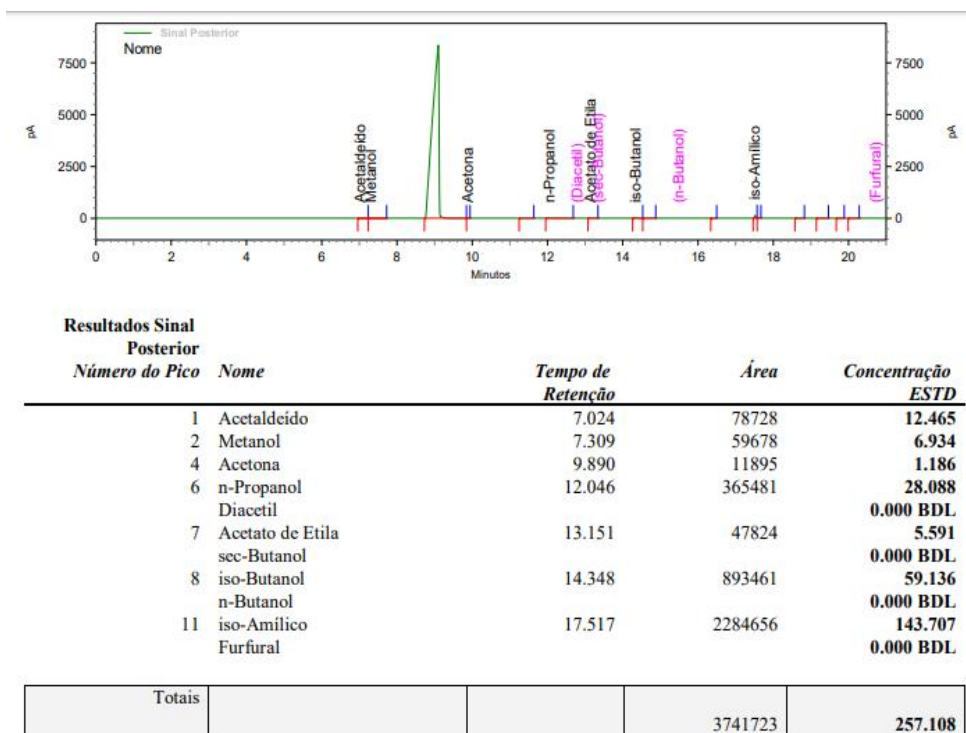
Item		Limite	Limite	Classificação
		mínimo	máximo	
1	Acidez volátil, em ácido acético, em mg/100 ml de álcool anidro		150	
2	Álcool superior (somatório de álcool n-propílico, álcool iso-butílico e álcoois iso-amílicos), em mg/100 ml de álcool anidro	---	360	---
3	Aldeídos, em aldeído acético, mg/100 ml de álcool anidro	---	30	---
4	Coeficiente de congêneres, em mg/100 ml de álcool anidro	200	650	---
5	Ésteres, em acetato de etila, em mg/100 ml de álcool anidro	---	200	---
6	Graduação alcoólica, em % v/v a 20 °C	38	54	---
7	Somatório de Furfural e hidroximetilfur-fural, em mg/100 ml de álcool anidro	---	5	---
8	Teor de açúcar em g/l	---	≤ 6	(normal)
		> 6	< 30	Adoçada

Figura 14 - Resultados da análise cromatográfica da **CANA CRUA (CORAÇÃO)**

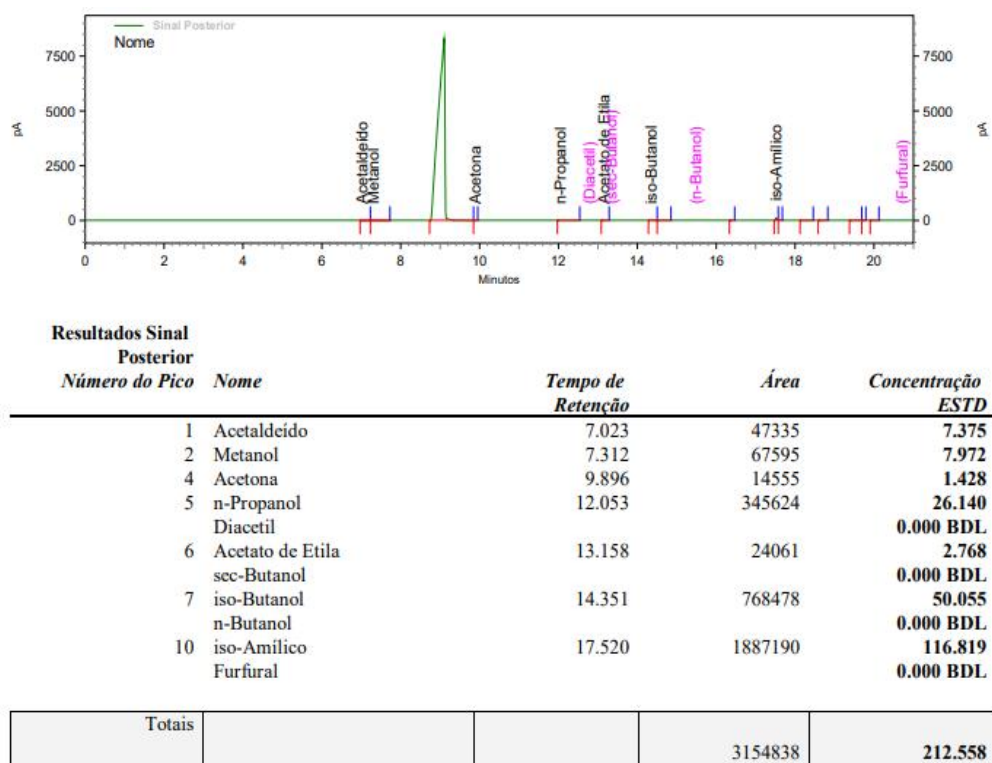
Fonte: Do autor (2019).

Figura 15 - Resultados da análise cromatográfica da **CANA QUEIMADA (CORAÇÃO)**

Fonte: Do autor (2019).

Figura 16 - Resultados da análise cromatográfica da **CANA CRUA (CALDA)**

Fonte: Do autor (2019).

Figura 17 - Resultados da análise cromatográfica da **CANA QUEIMADA (CALDA)**

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 8 – Agrupamento dos resultados, mostrados nas figuras 14 a 17.

		CANA QUEIMADA CORAÇÃO mg/100 ml	CANA CRUA CORAÇÃO mg/100 ml	CANA QUEIMADA CAUDA mg/100 ml	CANA CRUA CAUDA mg/100 ml
1	Acetaldeído	59.716	68.174	7.375	12.465
	Metanol	0.000 BDL	0.000 BDL	7.972	6.934
3	Acetona	0.869	0.652	1.428	1.186
5	n-Propanol	38.570	35.107	26.140	28.088
6	Diacetil	0.910	0.000 BDL	0.000 BDL	0.000 BDL
8	Acetato de Etila	49.256	54.766	2.768	5.591
	sec-Butanol	0.000 BDL	0.000 BDL	0.000 BDL	0.000 BDL
9	iso-Butanol	139.911	130.229	50.055	59.136
11	n-Butanol	0.561	0.719	0.000 BDL	0.000 BDL
13	iso-Amílico	351.364	341.783	116.819	143.707
	Furfural	0.000 BDL	0.608	0.000 BDL	0.000 BDL
Totais		641.156	632.039	212.558	257.108

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 9 – Agrupamento dos resultados, mostrados nas figuras 14 a 17, considerando os parâmetros da INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA, 2011

Item	Limite mínimo	Limite máximo	CANA QUEIMADA CORAÇÃO mg/100 ml	CANA CRUA CORAÇÃO mg/100 ml	CANA QUEIMADA CAUDA mg/100 ml	CANA CRUA CAUDA mg/100 ml
1 <u>Acidez volátil, em ácido acético, em mg/100 ml de álcool anidro</u>		150	10,2	11,34	12,47	12,47
2 Álcool superior (somatório de álcool n-propílico, álcool iso- butílico e álcoois iso-amílicos), em mg/100 ml de álcool anidro	---	360	529,845	507,119	193,014	230,931
3 Aldeídos, em aldeído acético, mg/100 ml de álcool anidro	---	30	59,716	68,174	7,375	12,465
4 Coeficiente de congêneres, em mg/100 ml de álcool anidro	200	650				
5 Ésteres, em acetato de etila, em mg/100 ml de álcool anidro	---	200	49,256	54,766	2,768	5,591
6 Graduação alcoólica, em % v/v a 20 °C	38	54				
7 Somatório de Furfural e hidroximetilfur-fural, em mg/100 ml de álcool anidro	---	5	0,000 BDL	0,608	0,000 BDL	0,000 BDL
8 Teor de açúcar em g/l	---	<= 6				
	> 6	< 30				

- I. Considerando os resultados agrupados na tabela 8, temos resultados para **ACIDEZ VOLÁTIL**, resultados **MENORES** que o limite de **150** permitido, **10,2** para cana queimada e **11,34** para cana crua.
Parâmetro este, comumente usados para avaliar a qualidade da cachaça artesanal;
- II. Considerando os resultados agrupados na tabela 8, temos resultados para **ÁLCOOL SUPERIOR**, resultados **MAIORES** que o limite de **360** permitido, **529,84** para cana queimada e **507,12** para cana crua;
- III. Considerando os resultados agrupados na tabela 8, temos resultados para **ALDEIDOS**, resultados **MAIORES** que o limite de **30** permitido, **59,72** para cana queimada e **68,17** para cana crua.;
- IV. Considerando os resultados agrupados na tabela 8, temos resultados para **ÉSTERES, EM ACETATO DE ETILA**, resultados **MENORES** que o limite de **200** permitido, **49,26** para cana queimada e **54,77** para cana crua;
- V. Considerando os resultados agrupados na tabela 8, temos resultados para **SOMATÓRIO DE FURFURAL E HIDROXIMETILFUR-FURAL**, resultados **MENORES** que o limite de **5** permitido, **0,0** para cana queimada e **0,6** para cana crua.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho, mostrou que a **QUEIMA** da cana de açúcar para utilização na produção da cachaça artesanal, **NÃO DIFERE** muito dos resultados apresentados para a cana crua, podendo a cana quando queimada interferir na análise sensorial da cachaça.

Temos resultados para **ACIDEZ VOLÁTIL**, resultados **MENORES** que o limite de **150** permitido, **10,2** para cana queimada e **11,34** para cana crua.

Parâmetro este, comumente usados para avaliar a qualidade da cachaça artesanal;

Temos resultados para **ÁLCOOL SUPERIOR**, resultados **MAIORES** que o limite de **360** permitido, **529,84** para cana queimada e **507,12** para cana crua;

Temos resultados para **ALDEIDOS**, resultados **MAIORES** que o limite de **30** permitido, **59,72** para cana queimada e **68,17** para cana crua.;

Temos resultados para **ÉSTERES, EM ACETATO DE ETILA**, resultados **MENORES** que o limite de **200** permitido, **49,26** para cana queimada e **54,77** para cana crua;

Temos resultados para **SOMATÓRIO DE FURFURAL E HIDROXIMETILFURFURAL**, resultados **MENORES** que o limite de **5** permitido, **0,0** para cana queimada e **0,6** para cana crua.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Incluir temperaturas diferentes como um fator, no intuito de encontrar a melhor temperatura de fermentação alcoólica.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CROMATOGRAFIA EM FASE GASOSA, Disponível em: <<https://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/chrom/gaschrom.htm>>. Acesso em: 01 outubro de 2019.

GOULART, D. S. APLICAÇÕES DAS TÉCNICAS DE CROMATOGRAFIA NO DIAGNÓSTICO TOXICOLÓGICO, Seminário apresentado junto à Disciplina Seminários Aplicados do Programa de Pós Graduação em Ciência Animal da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás. Nível: Doutorado, 2012.

INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA nº 15, de 31.03.2011 - DOU 1 de 01.04.2011

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). AGROSAT: 2018. Governo, 2018. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 08 janeiro. 2018.

MIRANDA, M. B.; et. al. QUALIDADE QUÍMICA DE CACHAÇAS E DE AGUARDENTES BRASILEIRAS; *Cienc. Technol. Aliment.* **2007**, 27, 897.

PAVIA, D. L., et. al. INTRODUCTION TO ORGANIC LABORATORY TECHNIQUES (4TH ED.) (2006). [S.l.]: Thomson Brooks/Cole. pp. 797–817. ISBN 978-0-495-28069-9

SILVA, M. V. P. dá COMPORTAMENTO DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA PARA PRODUÇÃO DE CACHAÇA COM E SEM CONTROLE DA TEMPERATURA EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BRIX E pH, Monografia (Graduação UFPB), João pessoa, 2019, 64 p.